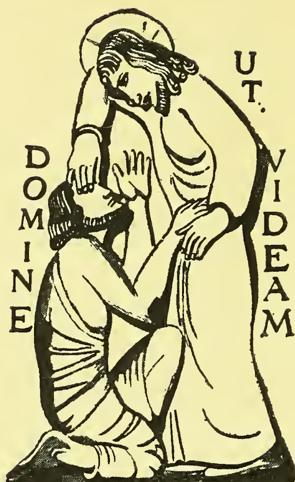



DOMINE
UT.
VIDEAM

Die

Störungen des Farbensinnes

ihre klinische Bedeutung und ihre Diagnose.

Von

Dr. HANS KÖLLNER
Privatdozent an der Universität Berlin
Assistent der Universitäts-Augenklinik.

Mit 33 Abbildungen im Text und drei farbigen Tafeln.



BERLIN 1912
VERLAG VON S. KARGER
KARLSTRASSE 15.

DEM ANDENKEN

MEINES UNVERGESSLICHEN LEHRERS

JULIUS VON MICHEL.

Vorwort.

In dem vorliegenden Buche ist — in dieser Form und in diesem Umfange zum ersten Male — der Versuch gemacht worden, für den Praktiker das zusammenzufassen, was über die angeborenen und besonders für die erworbenen Störungen des Farbensinnes bekannt geworden ist. Das Buch soll ihm als Anleitung für die Auffindung und die diagnostische und prognostische Verwertung von Farbensinnstörungen dienen, sowie auch die Grundlage bilden für eine weitere, physiologische Untersuchung vor allem der erworbenen Störungen des Farbensinnes. Es ist somit in erster Linie bestimmt für die Ophthalmologen und Neurologen, sowie für alle diejenigen praktischen und Spezial-Ärzte, welche genötigt sind, Untersuchungen und Gutachten über Farbentüchtigkeit auszuführen, wie z. B. die Bahnärzte.

Die Verhältnisse lagen ziemlich schwierig. Bei der geringen Zahl eingehenderer Untersuchungen erworbener Farbensinnstörungen und infolge der Ungleichmäßigkeit der gebräuchlichen klinischen Prüfungsmethoden, welche bei den Fällen in der Literatur angewendet worden sind, war ich häufig vorwiegend auf eigene Beobachtungen angewiesen, die an der Hand des umfangreichen Materials der Berliner Universitätsaugenklinik zwar zahlreich sind, aber doch bei der Größe des Gebietes nicht erschöpfend sein konnten.

Daß gerade das Verbindungsglied zwischen der klinischen Beobachtung und der physiologischen Forschung nur von wenigen Autoren eingehender berücksichtigt worden ist, macht sich auch jetzt noch recht fühlbar, ist aber verständlich, wenn man berücksichtigt, daß den Klinikern meist die physiologischen Untersuchungsmethoden, den Physiologen das erforderliche umfangreiche Krankenmaterial fehlt.

Immerhin sind gerade in dem letzten Jahrzehnt so viel neue und praktisch wichtige Ergebnisse auf dem Gebiete der angeborenen und erworbenen Farbensinnstörungen gezeitigt worden, daß es kaum noch möglich ist, sie jederzeit schnell zu übersehen.

Mir erschien daher eine zusammenfassende Darstellung ein Bedürfnis, auch wenn sie unvollkommen bleiben mußte. Ich rechne dabei vertrauensvoll auf die nachsichtige Beurteilung seitens aller Leser, vor allem seitens der Fachleute, denen sehr wohl bekannt ist, daß mit neuen Untersuchungsergebnissen auf einem derartigen Gebiete auch immer neue schwer lösbare Fragen sich den ohnehin schon bestehenden anreihen.

Über die Form der Darstellung bin ich noch Aufklärung schuldig. Man mag zuweilen den Eindruck der Einheitlichkeit vermissen, denn während ich bei der Besprechung erworbener Farbensinnstörungen den Rahmen eines Leitfadens oft überschritten habe, sind andere Abschnitte nur kurz und ohne eingehendere Literaturberücksichtigung behandelt, so die Übersicht über den normalen Farbensinn und die angeborenen Anomalien. Ich glaubte aber so handeln zu müssen. Denn für den Kliniker stehen nun einmal die erworbenen Störungen des Farbensinnes im Vordergrunde des Interesses. Ihnen gegenüber soll der normale Farbensinn nur den Auftakt bilden und die angeborenen Anomalien sollen vorwiegend das bringen, was der Praktiker bes. der Bahnarzt bei der Farbensinnprüfung braucht, und was für das Verständnis und die Untersuchung erworbener Farbensinnstörungen unumgänglich notwendig ist. Ihre eingehendere Besprechung bleibt die Domäne der Physiologen und ist in allen physiologischen Handbüchern auch erfolgt.

Aus dem gleichen Grunde, sowie mit Hinsicht auf den Umfang des Buches habe ich auch von einer kritischen Berücksichtigung aller Farbensinntheorien abgesehen und nur die hauptsächlichsten soweit gestreift, als notwendig war, um eine ungefähre Vorstellung von den heutigen Anschauungen über den Farbensinn zu geben. Das ist in gesonderten Kapiteln geschehen; durch diese getrennte Behandlung gelang es der Gesamtdarstellung nach Möglichkeit nur experimentelle Tatsachen als Grundlage zu geben und sie so objektiver zu gestalten.

Bei der Methodik der Untersuchung habe ich mich wiederum auf den Standpunkt des Praktikers zu stellen versucht, der mit möglichst geringen Unkosten an Geld und Zeit zu einem brauchbaren Ergebnis kommen will. Ich bin daher von einem bestimmten Untersuchungsplan ausgegangen, habe einige einfache Methoden in den Vordergrund gestellt und angedeutet, wie man im Zweifelsfalle stufenweise zu wissenschaftlicheren Methoden schreiten muß. Der dabei angegebene Weg scheint mir der praktischste, natürlich durchaus nicht der einzig gangbare zu sein.

Eine Aufzählung und Beschreibung sämtlicher bisher angegebener Methoden hätte nur Unübersichtlichkeit und Verwirrung herbeigeführt, ich habe sie daher vermieden und an entsprechenden Stellen lieber auf Handbücher und Literatur verwiesen.

Die Literatur über die erworbenen Störungen des Farbensinnes beabsichtigte ich anfangs möglichst erschöpfend zu geben. Bald stellte sich aber die Unerfüllbarkeit dieser Aufgabe heraus, besonders bei dem Abschnitt über die spezielle Pathologie des Farbensinnes.

Eine Grenze mußte doch gezogen werden, da unmöglich jede klinische Beobachtung, bei welcher farbige Perimeterobjekte angewendet wurden, erwähnt werden konnte, andererseits aber auf manchen unvollkommen untersuchten aber instruktiven Fall nicht verzichtet werden konnte. Ich habe daher eine Auswahl derart getroffen, daß die wichtigeren Kapitel mit ausführlichem Literaturverzeichnis versehen sind. Bei den anderen ist dafür möglichst auf Arbeiten hingewiesen, bei denen man weitere erschöpfende Literaturzusammenstellungen vorfindet.

Vielleicht wird dieses Buch zu weiteren Forschungen auf dem Gebiete der erworbenen Farbensinnstörungen anregen und zu der Erkenntnis beitragen, daß diesen nicht nur eine große und zunehmende klinisch-diagnostische Bedeutung zukommt, sondern daß sie auch von erheblichem physiologisch-theoretischen Interesse sind.

BERLIN, im Oktober 1911.

H. Köllner.

Inhaltsverzeichnis.

Der normale Farbensinn.

Die angeborenen Störungen des Farbensinnes.

Die erworbenen Störungen des Farbensinnes.



Der normale Farbensinn.

Alle Gegenstände, die wir um uns herum im Raume erblicken, sehen wir in irgend einer „Farbe“, d. h. entweder weiß, rot usw. „Von den Formen, in welchen die Farben uns im Sehraume erscheinen, also von den räumlichen Eigenschaften der Farben, handelt die Lehre vom Raumsinne des Auges, von den Farben selbst aber als den verschiedenen Qualitäten, handelt die Lehre vom Lichtsinne“ (Hering). Im allgemeinen ist man geneigt, Schwarz, Weiß und die zahlreichen Zwischenstufen als tonfreie Farben den bunten Farben oder Farbentönen gegenüberzustellen. Der letzteren Gruppe werden alle diejenigen Farben zugezählt, welche wir Rot, Grün usw. nennen, mitsamt ihren zahlreichen Zwischenstufen, sowie ihren Übergängen zu den tonfreien Farben, d. h. nach Weiß, Grau, Schwarz hin.

Die Lehre von der Schwarz-Weiß-Reihe der Farben bezeichnet Hering als Lehre vom **Lichtsinn** im engeren Sinne, die Lehre von den Farbentönen oder bunten Farben stellt die Lehre vom **Farbensinn** dar, dessen Störungen den Gegenstand dieser Abhandlung bilden[1]).

Die Farbenempfindungen.

Wir sind daran gewöhnt, im täglichen Leben von farbigen Gegenständen, z. B. roten Blumen zu sprechen, ebenso von roten Lichtstrahlen im Spektrum, und auch im folgenden soll der verständlicheren und kürzeren Darstellung wegen diese Ausdrucksweise beibehalten werden. In Wahrheit ist aber die rote Farbe weder eine Eigenschaft der Blume noch der Lichtstrahlen, sondern die Farben sind rein psychische Phänomene (Hering, 11). Spricht

[1]) Die Tatsachen, welche sich aus der Beobachtung am normalen Farbensinn ergeben haben, sind im folgenden nur soweit berücksichtigt, wie zum Verständnis der Darstellung seiner Störungen unbedingt erforderlich ist. Für ein eingehendes Studium muß auf die physiologischen Handbücher verwiesen werden.

man also von roten usw. Blumen, Papier oder von roten Spektrallichtern, so ist damit stets nur gemeint, daß es sich um Gegenstände oder Strahlen handelt, welche bei der überwiegenden Mehrzahl der Menschen, die als Normale bezeichnet werden, unter gewöhnlichen Beobachtungsbedingungen das psychische Phänomen auslöst, welches wir „rot" nennen. Man spricht dann von Rotempfindung, wenn auch inkorrekt, ähnlich wie man Schmerzempfindung usw. sagt.

Anordnung der Farben. Die Gruppierung der Farben erfolgt psychologisch ohne Rücksicht auf den physikalischen Vorgang der Lichtstrahlung und den physiologischen Vorgängen im Auge.

Im allgemeinen lassen sie sich nach drei Richtungen hin bestimmen, nämlich

1. nach dem Farbenton, ob rot oder grün usw.,
2. nach ihrer Sättigung, dem Übergange der Farbentöne nach Weiß hin,
3. nach ihrer Helligkeit: durch Abnahme der Helligkeit gehen die Farbentöne und ihre Sättigungsabstufungen in Schwarz über.

Die Farbentöne entsprechen im allgemeinen den bunten Farben des täglichen Lebens. Sie bilden mit ihren Abstufungen fortlaufende Übergänge ineinander und bilden dadurch gewissermaßen einen geschlossenen Ring, den Farbenkreis. Rot geht über Orange in Gelb, dann über Gelbgrün und Grün in Blau über, um über Violett und Purpur wieder in Rot zurückzukehren.

Man darf unter diesen Farbentönen nicht einfache und zusammengesetzte Farben unterscheiden, ähnlich, wie wir später einfache und zusammengesetzte Lichtstrahlen kennen lernen werden, nur weil es uns geläufig ist, etwa beim Malen Orange aus Rot und Gelb zu mischen. Vielmehr ist jeder Farbenton als Empfindung oder „Sehqualität" (Hering) dem anderen gleichwertig.

Trotzdem werden von Alters her in dem Kreise der Farbentöne einzelne als psychologisch ausgezeichnete „Grundfarben" oder „Urfarben" hervorgehoben, nämlich die vier Farben Rot, Grün, Gelb und Blau[1]).

Inwieweit eine Berechtigung zum Hervorheben dieser vier Farben besteht, kann einstweilen noch dahingestellt bleiben. Teilweise werden sogar nur drei

---

[1]) Bereits Leonardo da Vinci stellt Rot, Gelb, Grün, Blau als die einfachen Farben den anderen gegenüber. (Trattato della Pittura, 1519). Aubert nennt ebenfalls die 4 Farben die „prinzipalen" (Physiologie der Netzhaut, Breslau 1860, S. 186). Auch in der Heringschen Farben-Theorie spielen sie wiederum eine besondere Rolle (s. später).

„Grundfarben" unterschieden, nämlich Rot, Gelb und Blau, während Grün mit Orange und Violett auf eine Stufe gestellt wird. Auf diese Fragen kann hier nicht näher eingegangen werden.[1])

Zweifellos nehmen aber unter normalen und pathologischen Verhältnissen Rot, Grün, Gelb, Blau eine gewisse Sonderstellung ein.

So tritt unter gewissen physiologischen Bedingungen eine Vereinfachung der normalen Farbenempfindung ein, z. B. im peripheren Sehen (s. S. 23), bei hochgradiger Steigerung der Lichtintensität [(s. S. 10) und bei der Ermüdung des Sehorganes für Farben (Farbenumstimmung, s. S. 22). Hierbei zeigt sich die konstante Erscheinung, daß Rot, Gelb, Grün und Blau die einzigen Farben sind, welche ihren Farbenton nicht verändern, sondern höchstens ihre Sättigung einbüßen, d. h. weißlicher werden, während alle anderen Töne sich im Aussehen zweien unter diesen Farben, nämlich dem Gelb und dem Blau nähern[2]).

Auch für die N o m e n k l a t u r bilden Rot, Gelb, Blau, Grün bekanntlich die Grundlage. Man ist gewöhnt, alle Farbentöne als Übergangsstufen dieser Vier zu bezeichnen, und spricht von Rotgelb statt Orange, Gelbgrün, Blaugrün, Blaurot für Violett. Man bedient sich also stets zweier benachbarter „Grundfarben" (U r f a r b e n) bei der Farbenbenennung der im Farbenkreise zwischen ihnen liegenden Töne.

Dagegen besitzen zwei gegenüberliegende Grundfarben für uns etwas Gegensätzliches. Es wird niemand versuchen, z. B. von Rotgrün zu sprechen, um das im Farbenkreise zwischenliegende Gelb zu bezeichnen. Noch befremdender würde es scheinen, eine der vier Grundfarben mit Hülfe benachbarter Farbentöne zu benennen, etwa grünviolett anstatt blau.

Alle Farbentöne lassen sich also durch ihren Wert an vier Farben blau, gelb, rot und grün erschöpfend beschreiben.

Neuere Untersuchungen haben ergeben, daß Beobachter im Stande sind, mit ziemlicher Sicherheit und Genauigkeit die Urfarben herauszusuchen und anzugeben (W e s t p h a l, 27).

Diese Hervorhebung von vier Grund- oder Urfarben ist vollständig unabhängig von der später zu erwähnenden Möglichkeit, alle Lichtreize, welche diese verschiedenen Farbenempfindungen unter normalen Verhältnissen auszulösen pflegen, durch eine passend abgestufte Mischung von nur 3 verschiedenen homogenen Lichtern zu ersetzen (S. 17).

Man bezeichnet die verschiedenen Farbentöne häufig noch nach ihrer Gefühlswirkung als w a r m e u n d k a l t e F a r b e n. Als warme Töne gelten rot, orange, gelb, gelbgrün, als kalt die

---

[1]) Näheres s. B r e n t a n o, Untersuchungen zur Sinnespsychologie, Leipzig 1907.

[2]) Es wird sich später zeigen, daß bei der Pathologie des Farbensinnes ähnliche Erscheinungen auftreten.

blauen Töne, während z. B. grün als unbestimmt gelten kann. Es handelt sich dabei weniger um die Erregung wirklicher Wärme und Kälteempfindung, vielmehr soll damit nur ausgedrückt werden, daß mit der betreffenden Farbenempfindung gleichzeitig eine Wirkung auftritt, ähnlich jener, die durch Wärme- oder Kälteempfindung ausgelöst wird, nämlich ein anfeuerndes oder abweisendes Gefühl.

Nichts zu tun hat der Ausdruck „warme und kalte" Farben mit der Wellenlänge der homogenen Lichter in dem Sinne, daß die Farbe umso wärmer erscheint, je größer ihre Wellenlänge ist, je näher sie also den Wärmestrahlen steht, welche bekanntlich erheblich langwelliger sind, wie die Lichtstrahlen.

Alle Farbentöne nähern sich durch Abnahme der Sättigung dem Weiß, sie werden blasser oder weißlicher. Je nach dem Grade der Sättigung werden verschiedene Abstufungen unterschieden. Man kann somit auch die Empfindung Weiß als den geringsten Grad der Sättigung jedes Farbentones bezeichnen. In dem Farbenkreis lassen sich diese Empfindungen so darstellen, daß Weiß in die Mitte gesetzt wird und in den Zwischenraum zwischen der Peripherie und dem Zentrum alle die ungesättigten Übergangsstufen der Farbentöne, je nach ihrem Grade. Der Sprachgebrauch hat für einzelne dieser Übergangsstufen besondere Bezeichnungen, z. B. rosa, fleischrot, während andere nur durch den Zusatz blaß, hell, weiß charakterisiert werden.

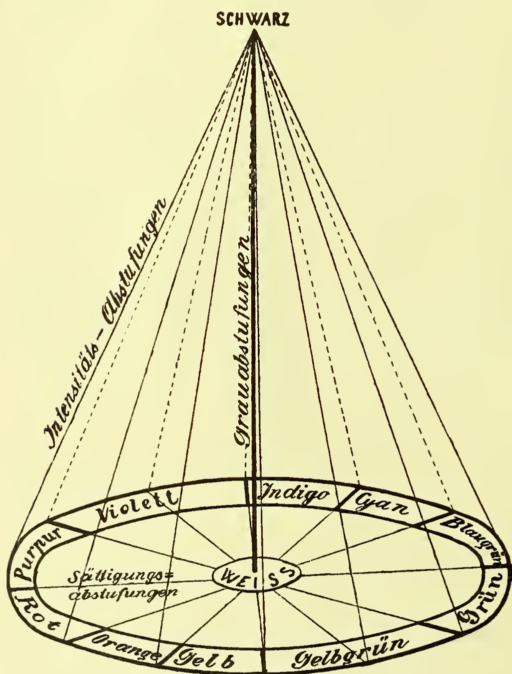


Fig. 1.
Graphische Darstellung der Farbenempfindung in Kegelform (nach Rosmanit).

Schließlich bilden die Farbentöne Übergänge zum Schwarz hin infolge Abnahme der Helligkeit. Durch diese Übergänge werden weitere Empfindungen gebildet, für welche der Sprachgebrauch ebenfalls z. T. besondere Bezeichnungen kennt.

In der graphischen Darstellung muß man hierfür die dritte Raumdimension zu Hülfe nehmen. Man erhält auf diese Weise einen Kegel, dessen Spitze mit

Schwarz bezeichnet werden kann, während auf dem Kegelmantel wieder die einzelnen Zwischenstufen nach Schwarz hin liegen. Das von der Kegelspitze auf die Grundfläche gefällte Lot würde die Übergangsstufen der Weiß-Schwarz-Empfindung bezeichnen. Im Innern des Kegels schließlich hätten alle die Helligkeitsabstufungen der ungesättigten Farbentöne ihren Platz z. B. Graubraun (Fig. 1).

Die Auslösung der Farbenempfindungen.

Das psychische Phänomen Farbe kann durch Momente ausgelöst werden, die ganz verschiedener Natur sind. Ein Druck auf das Auge kann ein Farbensehen hervorrufen; durch innere Reizung des Nervensystems, Zirkulationsstörungen, vor allem Intoxikationen kann eine Farbenempfindung erfolgen, auch ohne daß Licht in das Auge fällt. Normaler Weise jedoch bilden die Veranlassung des Farbensehens bestimmte Erregungsvorgänge im Sehorgan, welche ihrerseits wieder durch die Lichtstrahlen bedingt sind: das Licht oder der Lichtreiz ist der adaequate Reiz des Sehorganes.

Dieser durch das Licht bedingte physiologische Erregungsvorgang im Sehorgane ist von der eigentlichen Farbenempfindung als psychisches Phänomen stets strengstens zu unterscheiden, auch wenn sie für gewöhnlich in einem scheinbar engen Zusammenhange stehen.

Hiermit ist noch nicht die Vorstellung ausgesprochen, daß der physische Prozeß (die Erregung des Sehorganes durch eine rote Papierscheibe) sich in einen psychischen (das Farbensehen) umsetzt, um dann wieder zu einem physischen (z. B. das gesprochene Wort „Rot") zu werden. „Denn in die Kette physischer, materieller Hirnprozesse läßt sich vom Standpunkte der Physiologie nicht ein immaterielles Glied (das Farbensehen) eingeschoben denken" (Hering).

Jedenfalls sind die Beziehungen, welche zwischen den materiellen bzw. physischen und den psychischen Vorgängen innerhalb der Sehbahn bestehen, nur Hypothesen zugänglich, da uns nur „ein Glied dieser Beziehung, die ins Bewußtsein getretene Farbe, bekannt ist", während das Bindeglied, „nämlich die sog. psychophysischen Vorgänge in der Sehsubstanz" fehlt.

Aus dem Umstande, daß das Licht auf dem Wege physiologischer Vorgänge psychische Phänomene auslöst, geht hervor, daß auch normaler Weise die Farbenempfindung von mehreren Faktoren abhängig sein muß, nämlich

1. von einem physikalischen Faktor, der Beschaffenheit der Lichtstrahlen, welche den Erregungsvorgang im Sehorgan veranlassen. Ihre Zusammensetzung kann eine verschiedene sein, noch bevor sie den Augapfel erreichen, und sie kann auch innerhalb des Auges auf dem Wege durch die brechenden Medien

und die Netzhaut ihre Beschaffenheit — etwa durch Absorption — noch verändern, bis endlich die perzipierenden Organe erreicht sind.

2. von einem physiologischen Faktor, nämlich dem Erregbarkeitszustande, in welchem sich das Sehorgan gerade befindet, wenn es von den Lichtstrahlen getroffen wird.

Daß der Erregbarkeitszustand kein konstanter ist, zeigt sich z. B. darin, daß dieselben Lichtstrahlen eine ganz andere Farbenempfindung auslösen, wenn sie das Auge am Tage oder in der Dämmerung treffen (siehe Tages- und Dämmerungssehen, S. 18). Ferner ruft ein Lichtstrahl eine andere Empfindung hervor, wie vorher, wenn auf das Sehorgan das betreffende Licht längere Zeit eingewirkt hat (siehe Umstimmung, S. 22).

3. Hierzu gesellt sich noch ein weiterer, psychischer Faktor, welcher auf das Farbensehen von nicht geringem Einfluß ist, nämlich die Gedächtnis- oder Gewohnheitsfarben. So wissen wir, daß der Schnee weiß ist und die meisten Menschen werden ihn für weiß halten, unbekümmert um die verschiedenen Beleuchtungsverhältnisse, unter denen seine Farbe in Wirklichkeit erheblich vom Weiß abweichen kann. Die Gedächtnisfarbe wird eben beim Erblicken des Gegenstandes wieder mit wachgerufen „und sie ist dann für die Art unseres Sehens mitbestimmend."

Von großer Bedeutung ist die Gewohnheitsfarbe in der Malerei bei dem Tongeben von Bäumen, Dächern usw., der Anfänger malt z. B. den Baum grün und behauptet dann, „er male, was er sähe, während er in der Tat nur malt, was er weiß, d. h. was sein Gedächtnis ihm über die Farbe sagt" (Bezold).

Die Lichtreize und ihre Wirkung auf das normale Auge.

Die einfachen Lichter und das Spektrum.

Man stellt sich meist vor, daß sich das Licht durch den Raum in Wellenbewegungen fortpflanzt. Darnach unterscheidet man bekanntlich Lichtstrahlen von verschiedener Wellenlänge und bezeichnet als einfache, reine oder homogene Lichter solche, bei welchen ausschließlich Schwingungen von ein und derselben Wellenlänge stattfinden. Diese homogenen Lichter stellen die idealsten Reize dar, um die Gesichtsempfindungen zu prüfen, eben weil sie „rein" sind. Leider senden fast alle unsere gebräuchlichen und bekannten Gegenstände, mögen sie noch so schönfarbig erscheinen, kein homogenes, sondern gemischtes Licht aus, d. h. gleichzeitig Lichtstrahlen, welche verschiedene Wellenlänge haben. So lassen auch die zur Prüfung des Farbensinnes verwendeten farbigen Papiere, Gläser usw. noch eine ganze Anzahl Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge ins Auge gelangen, auch

wenn sie uns in ihrer Farbe rein oder einfarbig, z. B. schön rot erscheinen (Näheres s. S. 354).

Wir besitzen aber Mittel, gemischtes Licht in die homogenen Lichter zu zerlegen, indem wir ein Spektrum von der Lichtquelle erzeugen. Schickt man in der bekannten Weise einen Sonnenstrahl durch ein dreiseitiges Prisma, so erhält man ein bandförmiges Bild, indem die Strahlen mit kürzerer Wellenlänge stärker abgelenkt werden als die langwelligen (Fig. 2. Technisches s. S. 377). Von der

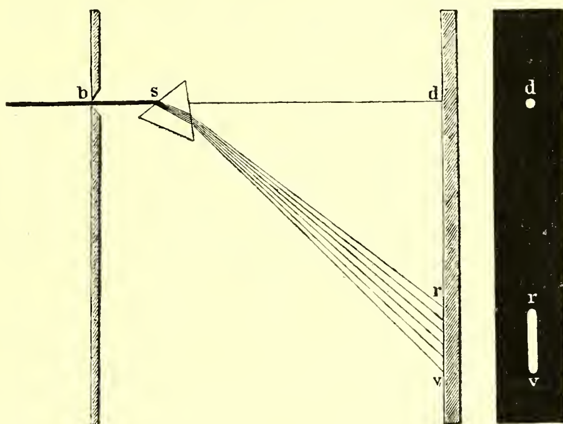


Fig. 2.
Durch den Spalt b fällt ein Sonnenstrahl. Während für gewöhnlich der Strahl den Schirm bei d erreichen würde, wird er bei s durch ein Prisma abgelenkt und erzeugt das bandförmige Spektrum r— v (Rot-Violett). (Aus Schöler, Buch der Natur.)

Gesamtzahl der Strahlengattungen, welche dieses spektrale Band enthält, ist nur ein verhältnismäßig kleiner Teil dem Auge sichtbar, das sichtbare Spektrum. Es umfaßt die Lichter von etwa 800 $\mu\mu$ Wellenlänge (rot) bis hinab zu etwa 400 $\mu\mu$ Wellenlänge (violett). Der Teil des Spektrums, welcher die Lichter von größerer Wellenlänge umfaßt und somit jenseits des sichtbaren Rot im Spektrum liegt, wird als Ultrarot bezeichnet. Bekannter ist am anderen Ende des sichtbaren Spektrums das Ultraviolett; es betrifft die jenseits des Violett liegenden kurzwelligen Strahlen, die demnach für das Auge unter gewöhnlichen Umständen nicht sichtbar sind, trotzdem aber eine große Wirkung auf alles lebende Gewebe ausüben (vgl. Fig. 3).

Die genannten Grenzen des sichtbaren Spektrums sind keine scharfen; vielmehr hängen sie nicht unwesentlich von den Beobachtungsbedingungen ab, wie Lichtstärke (Intensität) des Spektrums, dem Adaptationszustande des Auges usw. Helmholtz konnte das rote Ende des Spektrums im günstigsten Falle noch bis 835 $\mu\mu$ sehen, das kurzwellige noch bis 318 $\mu\mu$.

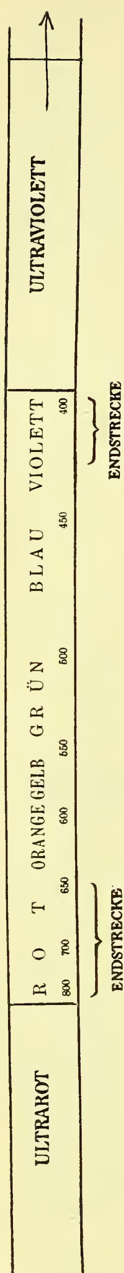


Fig. 3. **Dispersionsspektrum** (die Zahlen geben die Wellenlängen in $\mu\mu$ an).

Die Reihe der homogenen Lichter lösen bei ihrer Einwirkung auf das Sehorgan eine große Zahl der verschiedenen Farbenempfindungen aus, Empfindungen, die sich nicht nur in ihrem Farbenton, sondern auch in ihrer Helligkeit und Sättigung unterscheiden.

Um sie zu erzielen, ist nur notwendig das homogene Licht, welches in das Auge gelangt, (es soll wegen seiner Wirkung als Reizlicht bezeichnet werden) nach zwei Richtungen hin zu variieren, nämlich

a) in der Wellenlänge, welche hauptsächlich (nicht nur allein!) den Farbenton beeinflußt (s. u.),

b) in der Lichtintensität, welche hauptsächlich die Helligkeit der Farbentöne beeinflußt[1]), daneben auch die Sättigung und in geringem Grade den Farbenton.

Eine Sättigungsänderung der Farben bei Untersuchungen mit homogenen Lichtern wird praktisch meist durch Zumischung von farblosem (weißem) Licht (bezw. Lichtgemisch) erzielt. Hierdurch verlieren die Lichter allerdings ihre „Homogenität", denn mit zunehmender Weißbeimischung werden sie immer unreiner.

a) Die Farbentöne im Spektrum. Wenn man ein bandförmiges Spektrum, welches ja die Reihe der homogenen Lichter verschiedener Wellenlänge nebeneinander präsentiert, betrachtet, so sieht man die bekannten 7 Regenbogenfarben Rot, Orange, Gelb, Grün, Cyanblau, Indigoblau, Violett, wobei Rot dem langwelligen Ende, Violett dem kurzwelligen Ende entspricht. Jedoch ist die Zahl der Farbentöne, welche ein Normaler im Spektrum unterscheidet, viel größer; sie beträgt nach König annähernd 160 (s. Fig. 1 a. Tafel II).

Helmholtz hat die verschiedenen Farbentöne im Spektrum in folgender Weise genauer fixiert, um Unsicherheiten im Sprachgebrauch zu begegnen:

[1]) Helligkeit (und Dunkelheit) sind nur Eigenschaften der Farbenempfindungen. Man sollte deswegen nicht „Lichter von großer Helligkeit usw." sagen, wenn man nur den physikalischen Zustand einer starken Energie der Lichtstrahlung bezeichnen will. In letzterem Falle spricht man von Intensität oder Lichtstärke.

Frauenhofersche Linie	Wellenlänge in $\mu\mu$	Bezeichnung der Farbenempfindung
A	760,4	Äußerstes Rot
B	686,8	Rot
C	656,3	Grenze zwischen Rot u. Orange
D	589	Goldgelb
E	527	Grün
F	486	Cyanblau
G	431	Grenze zw. Indigoblau u. Violett
H	396,9	Grenze des Violett

In der Feinheit der Unterscheidung verschiedener Farbentöne bestehen innerhalb des Spektrums örtliche Verschiedenheiten.

So ändert sich der Ton in der Gegend des Orange, Gelb und Grün am schnellsten, d. h. es werden bereits zwei homogene Lichter, deren Wellenlänge nur unerheblich differiert, in verschiedenen Farbentönen gesehen. Nach den beiden Enden des Spektrums hin, also nach der Gegend, die uns rot und blau bezw. violett erscheint, wird durch eine Veränderung der Wellenlänge immer weniger eine Änderung des Farbentones erzielt, bis schließlich an den beiden äußersten Enden überhaupt keine Änderung des Farbentones mehr auftritt: die Lichter verschiedener Wellenlänge werden hier in dem gleichen Farbenton gesehen, d. h. also an dem einen Ende rot, am anderen violett, und sie unterscheiden sich nur noch durch ihre verschiedene Helligkeit voneinander, die hier schnell abnimmt, bis die Lichter ganz unsichtbar werden. Diese beiden Strecken an den Enden des Spektrums, innerhalb deren die homogenen Lichter in gleichem Farbenton gesehen werden, bezeichnet man als **Endstrecken.** Sie sind für nahezu alle menschlichen Augen vorhanden und reichen bei dem Normalen am roten Ende des Spektrums bis zu etwa 655 $\mu\mu$ herab, während sie am violetten oder kalten Ende bei etwa 430 $\mu\mu$ beginnen (s. Fig. 3).

Es soll hier nochmals betont werden, daß Farbenton und spektrales Licht zwei ganz verschiedene Dinge sind. Der Farbenton ist keine Eigenschaft des Lichtes, sondern ein psychisches Phänomen, welches unter normalen Verhältnissen allerdings durch die Einwirkung eines bestimmten homogenen Lichtes auf das Sehorgan veranlaßt wird. Will man also ein homogenes Licht objektiv bezeichnen, so muß man seine Wellenlängen angeben, aber man darf genau genommen nicht vom spektralen Rot usw. sprechen, wo man ein Licht von 670 $\mu\mu$ Wellenlänge

meint. Damit verwechselt man gewissermaßen Ursache und Wirkung.

Wenn trotzdem im folgenden Ausdrücke wie homogenes oder spektrales Rot, Grün usw. gebraucht werden, so geschieht es nur zur Erleichterung der Darstellung. Ein physiologisch oder physikalisch nicht Vorgebildeter kann sich eben unter einem spektralen Grün usw. leichter eine Vorstellung machen, als wenn er die Zahl der Wellenlängen, etwa 540 $\mu\mu$, angegeben sieht und nun erst nachsehen muß, welche Empfindung ein derartiges Licht bei dem Normalen unter gewöhnlichen Bedingungen auszulösen pflegt.

b) Die Helligkeit der Farbentöne ist innerhalb des Spektrums ebenfalls eine verschiedene. Die hellste Stelle liegt für den Normalen im Gelb. Von hier aus nimmt die Helligkeit allmählich nach beiden Seiten ab, und zwar erfolgt die Abnahme am schnellsten innerhalb der beiden „Endstrecken", (also dort, wo sich der Ton überhaupt nicht mehr ändert).

Man kann nun die Helligkeit der spektralen Farben weiter dadurch verändern, daß man die Intensität der Lichter bezw. die Lichtstärke steigert oder verringert.

Dieser Einfluß der Lichtintensität lediglich auf die Helligkeit der Farben hat aber seine Grenzen. Der Farbenton, in welchem die einzelnen homogenen Lichter gesehen werden, kommt ihnen nämlich nur innerhalb eines Bereichs mittlerer Lichtstärke zu. Wenn die Lichtstärke dagegen bis zur Blendung gesteigert wird, ändern die verschiedenen Lichter schließlich gleichzeitig auch den Farbenton, in dem sie bisher gesehen wurden. Dies geschieht in der Weise, daß die Lichter bis etwa 500 $\mu\mu$ abwärts (also Rot, Orange, Gelb, Grün) sämtlich sich einem Gelb nähern, die Lichter von etwa 500 $\mu\mu$ abwärts (Blaugrün, Blau, Violett) einem Blau.

Umgekehrt nähern sich bei Verminderung der Lichtstärke des Spektrums die Farbentöne allmählich dem Schwarz.

Die Helligkeit der Farben hängt nicht ausschließlich von der Intensität des Reizlichtes ab. Unter Umständen wird sie auch von anderen Faktoren bedingt. So wurde bereits erwähnt, daß innerhalb der „Endstrecken" des Spektrums auch die Wellenlänge der Lichter uns noch die Helligkeit des Rot bezw. Violett beeinflußt. Auch der Erregungszustand des Sehorganes ist von Einfluß, so besonders der Zustand der Dunkeladaptation, in dem sich das Auge befindet (s. später).

c) Eine Verminderung der Sättigung der Farben kann durch Zumischung von Weiß[1]) zu den homogenen Lichtern erzielt

[1]) Die Empfindung „Weiß" wird durch die Einwirkung bestimmter Lichtgemische hervorgerufen (s. später).

werden. Die Farbentöne werden dadurch zunehmend blasser und gehen schließlich in reines Weiß über[1]).

Auch wenn man die Intensität homogener Lichter bis zu hohen Graden der Blendung steigert, ändern die Farben nicht nur ihren Ton (s. o.), sondern sie verlieren gleichzeitig auch ihre Sättigung und gehen schließlich ebenfalls in ein blendendes Weiß über.

Bei gewöhnlicher Lichtstärke erscheinen die Spektrallichter zwar in sehr gesättigten Farben, aber es ist interessant, daß man diese Sättigung noch steigern kann, wenn man die Erregbarkeit des Sehorganes vorher in bestimmter Weise beeinflußt, nämlich längere Zeit auf die Komplementärfarbe blickt (s. S. 22). Sieht man eine Zeit lang auf eine gelbe Fläche und richtet dann den Blick auf blaue Lichter, so erscheinen diese in ganz besonders schöner Sättigung, wie nie zuvor.

Lichtgemische und Lichtmischung.

Freilich löst unter gewöhnlichen Beobachtungsbedingungen ein homogenes Licht von bestimmter Wellenlänge stets eine bestimmte Farbe aus, so Licht von 589 $\mu\mu$ ein rötliches Gelb. Aber es kann nun nicht etwa diese Empfindung Rötlichgelb ausschließlich nur durch das homogene Licht 589 $\mu\mu$ erzielt werden. Vielmehr ist es eine physiologisch interessante und wichtige Tatsache, daß genau dieselbe Farbenempfindung, z. B. Gelb, welche ein homogenes Licht auslöst, auch durch zusammengesetztes Licht bezw. Lichtgemische aus zwei oder mehr homogenen Lichtern erhalten werden kann.

Dabei kann das Auge entweder gleichzeitig von den verschiedenen homogenen Lichtern getroffen werden, oder diese können in so schnellem Wechsel in das Auge gelangen, daß eine Unterscheidung unmöglich ist, z. B. bei einer rotierenden Kreiselscheibe.

Man kann also wohl von einfachen und zusammengesetzten Lichtern in physikalischem Sinne sprechen, aber nicht in diesem Sinne von einfachen und zusammengesetzten Farben. Es ist dem Sehorgan vollkommen unmöglich zu unterscheiden, ob eine Farbe z. B. Gelb von einem homogenen Licht von etwa 589 $\mu\mu$ herrührt, oder von einer Mischung von zwei anderen Lichtern oder von einer gelben Papierscheibe, die also unreines oder gemischtes Licht zurückwirft. Das Sehorgan analysiert die Empfindung also nicht, wie es bei akustischen Reizen geschieht, indem ein Dreiklang beispielsweise in seine einzelnen Bestandteile zerlegt wird.

---

[1]) Dadurch werden die spektralen Lichter natürlich gleichzeitig „unrein", d. h. ein solches ungesättigtes „Rot" sendet nicht nur Strahlen von etwa 670 $\mu\mu$ Wellenlänge in das Auge, sondern auch eine ganze Anzahl Strahlengattungen verschiedener Wellenlänge, weil eben „Weißes Licht" im Spektrum nicht enthalten ist und aus mehreren homogenen Lichtern sich zusammenfaßt.

Es besteht dadurch die Möglichkeit, dem Sehorgan nebeneinander ein homogenes Licht und ein passend gewähltes Lichtgemisch — also zwei ganz verschiedene Lichtreize — zu zeigen, welche trotzdem die gleiche Farbenempfindung hervorrufen. Das kann in der Weise geschehen, daß ein farbiges Feld aus zwei aneinanderstoßenden Teilfeldern besteht, und daß nun der eine Teil von einem bestimmten homogenen Licht, der andere Teil von einem Licht anderer Zusammensetzung erleuchtet wird. Der Beobachter vergleicht nun die beiden Feldhälften miteinander. (Fig. 4). Man verändert dann die Zusammensetzung der

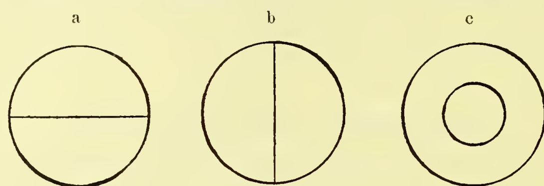


Fig. 4.
Gebräuchliche Anordnung der beiden Teilfelder für eine Gleichung in den Spektralapparaten.

Lichter und ihre Intensität bezw. Lichtstärke so lange, bis die beiden Feldhälften vollständig in gleicher Farbe, überhaupt völlig gleich gesehen werden.

Ganz allgemein bezeichnet man eine derartige Nebeneinanderstellung qualitativ verschiedener Lichtreize, welche die gleiche Farben-Empfindung oder Sehqualität hervorrufen, als **Gleichung.** Es ergibt sich daraus, daß man zwei Arten von Gleichungen unterscheiden muß, nämlich

a) Gleichungen zwischen nur homogenen Lichtern. Wir sahen, daß innerhalb der „Endstrecken" eines Spektrums sich die Lichter nur durch ihre Helligkeit unterscheiden. Betrachtet man zwei Felder, welche durch Licht von 700 $\mu\mu$ und 760 $\mu\mu$ erleuchtet werden, so kann man die Intensität des einen so lange verändern, bis beide schließlich völlig gleiche Empfindung hervorrufen (für den Normalen in diesem Falle rot), d. h. man hat nunmehr eine Gleichung erhalten.

b) Mischungsgleichungen, wobei meist eine, oder aber auch beide Lichtreize von einem Lichtgemische gebildet werden.

Diese Mischungsgleichungen sind eins der wichtigsten Hülfsmittel für die Untersuchung des Farbensinnes. Sie bilden eine zuverlässige Grundlage für die Kenntnis des Farbensinnes und zugleich den Ausgangspunkt für die Darstellung seiner Störungen. Bei allen Gleichungen handelt es sich nur darum, festzustellen, ob zwei Lichter oder Lichtgemisch die gleiche Farben-Empfindung auslösen oder nicht. Welcher Art diese Farbe ist, erscheint zunächst gleichgültig. Man fragt demnach bei der Herstellung von Gleichungen den Beobachter

in erster Linie darnach, ob die Vergleichsfelder „gleich" aussehen oder nicht, dagegen nicht, welche Farbe sie haben. Die sich so ergebenden Tatsachen können also untersucht und dargestellt werden, ohne daß die Benennungen der Farben, rot, grün usw., überhaupt angewendet werden.

Die gebräuchlichsten Methoden, um Mischungsgleichungen auszuführen, sind folgende. Für Demonstrationszwecke vor mehreren Zuhörern und auch für viele wissenschaftliche Zwecke wird der Farbenkreisel gern benutzt, bei welchem die Mischung durch verschieden große Sektoren farbiger Papierscheiben erfolgt, welche dann in schnelle Rotation versetzt werden. Über seine Anwendung s. S. 378.

Viel wichtiger ist die Mischung von homogenen Lichtern. Um sie quantitativ zu ermöglichen, d. h. so, daß die Anteile der einzelnen Lichter an der Mischung zahlenmäßig bestimmt werden können, sind ziemlich verwickelte technische Einrichtungen notwendig, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann[1]). Der einfachste derartiger Spektralapparate, der allerdings nur für bestimmte Zwecke und Gleichungen brauchbar ist, ist das Anomaloskop nach Nagel (über seine Anwendung s. S. 69).

Besonders Mischungsgleichungen, bei denen das eine Reizlicht aus einem homogenen spektralen Lichte besteht, während das andere ein Gemisch von zwei spektralen Lichtern darstellt, bilden für die klinische Untersuchung und die genauere Analyse der Farbensinnstörungen ein unentbehrliches Hülfsmittel. Es ist daher notwendig, die wichtigsten **Gesetze** zu kennen, welche für das normale Sehorgan hinsichtlich der Mischung zweier Spektrallichter bestehen. Folgende seien hier erwähnt:

1. Mischt man zwei Spektrallichter, die aus den beiden Enden des Spektrums genommen sind, also ein langwelliges (Rot) und ein kurzwelliges (Violett), so ruft das Gemisch die Empfindung Purpur hervor. Je nach dem Mengenverhältnis, in welchem das Spektralrot und -violett gemischt sind, nähert sich die Purpurfarbe im Farbenton mehr dem Rot oder dem Violett. Damit erhält man nunmehr auch diejenigen Farbentöne des Farbenringes (S. 2), welche im Spektrum selbst nicht enthalten sind.

Durch die Purpurtöne ist die Reihe der spektralen Farben zu einem geschlossenen Ring, eben jenem Farbenkreis ergänzt und damit die Zahl der Farbentöne überhaupt erschöpft. Alle weiteren Mischungen homogener Lichter können nunmehr keine neuen Töne mehr hervorrufen, sondern entweder dieselben Farbenempfindungen, welche schon die homogenen Lichter allein auslösen, oder Variationen von ihnen in Helligkeit und Sättigung. Das zeigt sich in den nun folgenden Gesetzen.

---

[1]) Näheres s. in physiologischen Handbüchern (Tigerstedt, Handbuch der physiologischen Methodik, Bd. III, Hirzel, Leipzig 1910).

2. Wählt man die beiden Mischlichter etwas entfernter von den Spektralenden, z. B. diejenigen, welche wir Orange und Indigoblau sehen, so werden die Purpurtöne immer ungesättigter, weißlicher. Schließlich stößt man auf zwei Lichter, welche in einem bestimmten Verhältnis gemischt, ein reines Weiß bezw. Grau ergeben. Derartige Lichter bezeichnet man kurz mit Komplementärfarben. Von ihnen gibt es im Spektrum eine ganze Reihe. Die Komplementärfarben sind von mehreren Untersuchern genau bestimmt worden. Die einzelnen Ergebnisse weichen z. T. nicht unerheblich von einander ab (eine große Rolle spielt dabei die Versuchsanordnung).

Komplementärfarben nach Helmholtz.

Wellenlänge in $\mu\mu$	Farbe	Wellenlänge in $\mu\mu$	Komplementärfarbe
656,2	Rot	492,1	Grünblau
607,7	Orange	489,7	Blau
585,3	Goldgelb	485,4	Blau
573,9	Goldgelb	482,1	Blau
567,1	Gelb	464,5	Indigoblau
564,4	Gelb	461,8	Indigoblau
563,6	Grüngelb	von 433 ab	Violett

Die einzigen Spektrallichter, welche im Spektrum selbst keine Komplementärfarbe haben, sind die Lichter von etwa 550—500 $\mu\mu$ Wellenlänge, die wir grün sehen. Zu ihnen ist Purpur komplementär, das, wie wir sahen, nur durch Mischung erhalten werden kann.

3. Wählt man den Abstand der beiden Mischlichter im Spektrum (bezw. die Differenz ihrer Wellenlängen) noch kleiner wie bei einem Komplementärfarbenpaar, so erhält man eine Mischung, welche im Ton mit einer Farbe übereinstimmt, welche im Spektrum zwischen den beiden Mischlichtern gelegen ist, aber weniger gesättigt, also weißlicher aussieht. So gibt z. B. 670 $\mu\mu$ (rot) und 520 $\mu\mu$ (grün) gemischt ein weißliches Gelb. Je nachdem in der Mischung Rot oder Grün überwiegt, nähert sich dabei das Gelb mehr dem Rot — es sieht weiß orange —, oder dem Grün — es sieht gelbgrünlich aus. Während somit bei der Mischung der Farbenton durch das Mischungsverhältnis der beiden Lichter bestimmt wird, hängt der Sättigungsgrad der Farbenmischung von der Entfernung der beiden Lichter im Spektrum (der Differenz ihrer Wellenlängen) ab.

4. Wird die Entfernung oder der Unterschied in der Wellenlänge der beiden Lichter nur klein genug gewählt, so gleicht die Mischung im Farbenton und Sättigung einem der im Spektrum dazwischenliegenden Lichter vollkommen. So ruft eine Mischung

aus Spektralorange und -Hellgrün die gleiche Empfindung hervor, wie Spektralgelb.

Dieser Satz ist der praktisch wichtigste, denn er führt zu einer besonderen Untersuchungsmethode des normalen und anomalen Farbensinnes, zur

Rayleigh-Gleichung.[1])

Man pflegt sich hierzu der drei spektralen Lichter Rot (das Rot der Lithiumlinie, 670 $\mu\mu$), Gelblichgrün (Thalliumlinie, 535 $\mu\mu$) und Gelb (Natrumlinie, 589 $\mu\mu$) zu bedienen.[2])

Mischt man das Rot und Grün zusammen, so kann dieses Rotgrün-Gemisch, wie es kurz genannt werden soll, dem homogenen Gelb so gut wie vollkommen gleichaussehend gemacht werden, sowohl in Ton, Sättigung und Helligkeit.[3])

Man beschickt also in einem Spektralapparat zwei aneinanderstoßende Felder, das eine mit Natriumgelb, das andere mit dem Rotgrüngemisch (Fig. 5). Reguliert man dann erstens die Lichtintensität so lange, bis beide Felder hellgleich aussehen, und zweitens das Mischungsverhältnis Rot-Grün, bis auch die Farbe der Felder gleich aussieht, so erblickt der Beobachter nunmehr nur noch ein gleichmäßig gefärbtes Feld mit einer Trennungslinie, welche andeutet, wo die beiden Teilfelder, das homogene Gelb und das Rotgrüngemisch aneinanderstoßen.

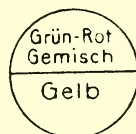


Fig. 5.

Der Beobachter, für den die Rayleighgleichung eingestellt werden soll, wird nur aufgefordert anzugeben, ob die beiden Teilfelder „gleich“ aussehen (d. h. gleichhell und gleichfarbig) oder nicht; ob sie ihm gelb erscheinen, ist zunächst gleichgültig.

Sowohl die Lichtintensität der beiden Felder, wie auch das Mischungsverhältnis Rot-Grün, welche erforderlich sind, damit die beiden Teilfelder völlig gleich aussehen, können zahlenmäßig bestimmt werden. Am wichtigsten ist das Mischungsverhältnis Rot-Grün. Es ist für alle Normalen annähernd gleich und außerordentlich scharf begrenzt, d. h. schon eine geringfügige Änderung der Mischung im Sinne einer Hinzufügung von Rot oder Grün

[1]) Lord Rayleigh, Experiments of colour. Nature **25**, S. 64, 1881.

[2]) Am einfachsten und in vollkommen genügender Weise am Nagelschen Anomaloskop (Beschreibung S. 70).

[3]) Für eine Anzahl Beobachter gelingt die Gleichung nicht; das Rotgrüngemisch bleibt für sie immer etwas ungesättigter gelb, wie das Natriumlicht. Man wählt deswegen die Wellenlängendifferenz zwischen Rot und Grün kleiner und bedient sich besser anstatt des Thalliumlichtes eines noch etwas mehr gelblichen (also langwelligeren) Grüns.

„stören die Gleichung“: es tritt eine leichte Farbendifferenz auf. indem die Rotgrünmischung grünlicher (viele Ungeübte sagen auch dafür „heller“ oder „blasser“) oder rötlicher („gelber“) erscheint, als das gelbe Teilfeld. (Über die Technik der Einstellung und ihre diagnostische Verwertung am Anomaloskop s. S. 69).

Es ist soeben gesagt worden, das Mischungsverhältnis Rot-Grün ist für alle Normalen annähernd das gleiche. In Wirklichkeit bestehen für die einzelnen Beobachter z. T. recht erhebliche individuelle Verschiedenheiten, d. h. der eine braucht etwas mehr grünes (oder rotes Licht) zur Rotgrün-Mischung, als der andere. (Über die Größe der Schwankungen s. a. S. 74). Ja es kommen zuweilen nicht unbeträchtliche Differenzen zwischen den beiden Augen eines Beobachters vor.

Die Ursache hierfür ist wohl zum Teil in einer physiologischen Verschiedenheit des Sehorganes zu suchen, zum Teil aber auch physikalischen Ursprungs und beruht dann auf einer ungleich starken Absorption oder auf Dispersion in der Fovea centralis. Bei manchen wird das Grün der Mischung stärker absorbiert gegenüber dem Rot; der Beobachter muß also dem Gemisch mehr grün hinzufügen und er stellt so eine Gleichung ein, welche ein anderer Beobachter ungleich sehen muß: das Rot-Grüngemisch erscheint ihm gegenüber dem Gelb zu grün.

Der gleiche Fall tritt ein, wenn eine bei direkter Fixation hergestellte Rayleighgleichung mit leicht abgewendetem Blick, d. h. extramakular betrachtet wird. Nunmehr muß die makulare Schwächung des grünen Anteils der Rot-Grünmischung fortfallen.

Natürlich läßt sich die makulare Absorption bzw. Dispersion auch mit anderen spektralen Gleichungen feststellen. So wird ein bei direkter Betrachtung hergestelltes Weiß-Gemisch aus den Komplementärfarben Rot und Blaugrün bei seitlichem Blick deutlich Blaugrün. Auch die Komplementärfarbenbestimmung fällt foveal anders aus, wie bei Prüfung mit großem Objektfeld (Gullstrand 11a).

Einige Male jedoch ließ sich feststellen, daß es sich um physiologische Differenzen handeln mußte, nicht um einfache Absorptionserscheinungen[2]). Derartige Beobachtungen sind bis jetzt noch recht spärlich, jedoch von großer Wichtigkeit nicht nur in physiologischer, sondern auch praktischer Hinsicht. Denn hier besteht augenscheinlich ein vollkommener Übergang zu denjenigen angeborenen Störungen des Farbensinnes, die als anormale trichromatische Farbensysteme bezeichnet werden, und die für bestimmte Berufszweige als farbenuntüchtig gelten müssen. (Näheres s. S. 52.)

Jedenfalls sieht man daraus, daß normaler Weise im Farbensystem sehr wohl individuelle Verschiedenheiten vorkommen, wenn sie sich auch bei gröberen Prüfungen und im täglichen Leben nicht bemerkbar machen.

Man wird zuweilen noch eine weitere Beobachtung machen. Von einigen Personen wird die Rayleigh-Gleichung auf beiden Augen zwar gleich und mit gleicher Schärfe eingestellt, sodaß also keine Differenz nachzuweisen ist. Dennoch findet man bei abwechselnder Betrachtung des farbigen Feldes mit den beiden

---

[1]) Zeitschr. f. Psychologie und Physiol. der Sinnesorgane. XIII, S. 284.

Augen, daß ein Unterschied in der Farbenempfindung besteht, es sieht mit dem einen Auge mehr orange, mit dem anderen mehr grünlich-gelb aus. Diese individuellen Verschiedenheiten haben mit der Gleichung selbst nichts zu tun, sie sind nur ein neuer Beweis dafür, wie vorsichtig man die Empfindungen selbst und ihre Benennungen praktisch verwerten muß.

Es ist also möglich, aus zwei passend gewählten spektralen Lichtern eine Mischung zu erhalten, welche einem anderen Spektrallicht gleich aussieht, d. h. die gleiche Farbenempfindung auslöst; es gibt aber für kein normales Auge zwei homogene Lichter, durch deren Mischung alle Farbentöne, welche wir im Spektrum sehen, erzeugt werden können. Dagegen kann zu jedem beliebigen Spektral-Licht ein ihm gleichaussehendes Gemisch aus drei passend gewählten Spektral-Lichtern hergestellt werden. So können wir aus Spektralrot, Grün, und Violett die ganze Reihe der spektralen Farbentöne erhalten, wenn nur das Mischungsverhältnis der drei Lichter richtig variiert wird. **Ja, es lassen sich mit einem derartigen Dreilichtergemisch überhaupt alle denkbaren Farbenempfindungen auslösen, sowohl hinsichtlich des Tones, der Helligkeit und der Sättigung[1]).**

Wir haben damit gewissermaßen drei Komponenten für das Farbensehen des Normalen gefunden. Sie beziehen sich aber ausschließlich auf die Lichtreize, welche bei dem Normalen die verschiedenen Farbenempfindungen veranlassen.

Die eigentliche Farbenempfindung ist, wie nochmals betont werden soll, ein psychischer Vorgang, eine Wirkung dieser Erregungsvorgänge. Sie hat daher auch mit den drei Lichtmischungskomponenten nichts zu tun und die verschiedenen Farbentöne, in welche sich die normale Farbenempfindung gliedert, kann man sich nach wie vor auch aus den vier Grund- oder Urfarben Rot, Grün, Gelb, Blau zusammengesetzt denken, in dem oben S. 2 genannten Sinne.

Die Ergebnisse der Lichtmischung, also rein experimentelle Tatsachen, bilden nun die Grundlage für die Einteilung der angeborenen Störungen des Farbensinnes.

Man spricht von einem **trichromatischen Farbensystem,** wenn — eben, wie bei dem Normalen — mindestens 3 Lichter erforderlich sind, um gemischt alle denkbaren Farbenempfindungen,

[1]) Mit Ausnahme einiger Sättigungsabstufungen.

deren der Betreffende fähig ist, auszulösen. Der normale Farbensinn ist daher ein trichromatisches Farbensystem.

Genügen schon zwei Lichter zu dieser Mischung, so spricht man von dichromatischen Farbensystemen.

Ist überhaupt keine Mischung notwendig, kann durch jedes homogene Licht schon jede mögliche Empfindung erzielt werden, nur dadurch, daß man seine Lichtstärke, seine Intensität verändert, so liegt ein monochromatisches Farbensystem vor.

Dichromatische und monochromatische Farbensysteme bilden einen großen Teil der an eborenen und erworbenen Störungen des Farbensinnes.

Die Stimmung des Sehorganes.

Das Dämmerungssehen und die Dunkeladaptation.

Schon im Anfang wurde darauf hingewiesen, daß die Farbenempfindung von mehreren Faktoren abhängig ist, nicht nur von der physikalischen Beschaffenheit der Lichtreize. Hierher gehört auch der Erregbarkeitszustand, in dem sich dasSehorgan zu der Zeit befindet, wenn es von den Lichtstrahlen getroffen wird.

Bei den bisher besprochenen farbigen Empfindungen war stillschweigend vorausgesetzt worden, daß sich das Sehorgan in einem bestimmten unveränderten Zustande, einer ,,Stimmung" befand, wie er bei dem Aufenthalt in hell beleuchteten Räumen annähernd vorhanden zu sein pflegt, und den man als Tagessehen bezeichnen kann.

Begibt man sich aus einem hellerleuchteten Raum nun in einen sehr dunkel gehaltenen, so befindet man sich fürs erste in einem hülflosen Zustande. Erst allmählich tritt eine Anpassung an die veränderten Beleuchtungsverhältnisse ein, das Sehorgan wird empfindlicher für die geringen Helligkeiten, die in dem verdunkelten Raume vorhanden sind. Dieser Vorgang der Anpassung wird als Dunkeladaptation bezeichnet. Die Zunahme der Empfindlichkeit für lichtschwache Objekte ist eine sehr große, sie beträgt das Vieltausendfache des Tagessehens.[1])

Tritt man aus einem dunkelen Raum plötzlich in das helle Tageslicht, so muß man auch hier bekanntlich erst die anfängliche Blendung überwinden. Diese umgekehrte Anpassung wird ebenso als Helladaptation bezeichnet.

[1]) Genaueres über den Vorgang der Dunkeladaptation siehe in den physiologischen Lehrbüchern z. B. von Kries, 10.

Von Wichtigkeit für die Prüfung des Farbensinnes ist jedoch die Tatsache, daß die Dunkeladaptation nicht an allen Stellen der Netzhaut in gleichem Grade vor sich geht. Ihre örtlichen Verschiedenheiten sind sogar sehr erhebliche. Am größten ist die Adaptationsfähigkeit der Netzhaut etwa 10—20° von der Macula lutea entfernt. Nach dem Netzhautzentrum nimmt sie schnell ab und ist zwar in dem stäbchenfreien Bezirk der Fovea centralis sicher noch vorhanden, aber doch verhältnismäßig recht gering. In ähnlicher Weise erfolgt von der Ringzone mit maximaler Adaptationsfähigkeit (also 10—20° im Gesichtsfeld) nach der Peripherie des Gesichtsfeldes hin wieder eine allmähliche Abnahme der Empfindlichkeit.

Die Sehweise beim Dämmerungssehen. Hat das Sehorgan nach längerem Aufenthalt im vollkommen dunkeln Raum den Vorgang der Dunkeladaptation durchgemacht, so befindet es sich in einem Zustande, den man im Gegensatz zum Tagessehen als Dämmerungssehen bezeichnen kann.

Ganz abgesehen von der großen Empfindlichkeit für geringe Helligkeiten ergeben sich besonders für die Farbenempfindung im Dämmerungssehen eine Reihe wichtigster Tatsachen, die, wie wir später sehen werden, für die Untersuchung der peripheren Farbenempfindung von der größten Bedeutung sind.

Es soll wieder von dem Spektrum mit seinen verschiedenen homogenen Lichtern ausgegangen werden. Natürlich muß es in sehr geringer Lichtstärke dargestellt werden, um das Sehorgan in dem Zustande des Dämmerungssehens möglichst zu erhalten und keine Helladaptation zu veranlassen.

Das spektrale Band erscheint nunmehr als heller Streifen, aber vollkommen eintönig grau. Mit anderen Worten, das Sehorgan befindet sich im Dämmerungssehen im Zustande der totalen Farbenblindheit. Aus dem ursprünglich normalen trichromatischen Farbensystem ist ein monochromatisches geworden. Jedes homogene Licht ruft denselben Empfindungston hervor wie das andere, und die Empfindungen unterscheiden sich nur durch ihre Helligkeiten voneinander. Die Helligkeit kann man aber wieder dadurch beeinflussen, daß man die Intensität der spektralen Lichter ändert. Daraus ergibt sich, daß man in einem für derartige Untersuchungen angewendeten Spektralapparat die beiden Hälften des Beobachtungsfeldes mit zwei ganz beliebigen homogenen Lichtern beschicken kann; allein dadurch, daß man die Lichtstärke der beiden Feldhälften reguliert, kann man vollkommene Gleichungen (s. S. 12) zwischen allen spektralen Lichtern untereinander erhalten.

Um sich einen genaueren Einblick in die Sehweise zu verschaffen, braucht man nur zu bestimmen, in welchem Helligkeitsverhältnisse die einzelnen Lichter des Spektrums völlig gleich gesehen werden; man erhält auf diese Weise die Helligkeitsverteilung über das Spektrum.

Erleuchtet man z. B. die eine Hälfte a eines Objektfeldes mit einem konstanten Spektrallicht, z. B. 670 $\mu\mu$ (im Tagessehen Rot) und die andere Hälfte b nacheinander mit verschiedenen Lichtern aus allen Teilen des Spektrums, so kann man beide Hälften völlig gleichaussehend machen, wenn man nur die Intensität der Hälfte a entsprechend ändert. Man erhält dann für jedes Spektrallicht, das in b eingestellt wurde, eine Zahl, welche die abgelesene Intensität von a darstellt, die zur Gleichung notwendig war. Die sich so ergebenden relativen Zahlenwerte stellen dann die Reizwerte dar, welche die spektralen Lichter für das dunkeladaptierte Auge besitzen. Sie werden in diesem Falle als Dämmerungswerte bezeichnet. Die Werte müssen dort am höchsten sein, wo das Spektrum am hellsten aussieht.

Es zeigt sich nun die auffällige Tatsache, daß das Maximum der Helligkeit nicht mehr wie beim Tagessehen in der Gegend von 580 $\mu\mu$ (Gelb) liegt, sondern erheblich nach dem kurzwelligen Ende des Spektrums zu verlagert ist, nämlich im Grün liegt, etwa bei 530 $\mu\mu$[1]).

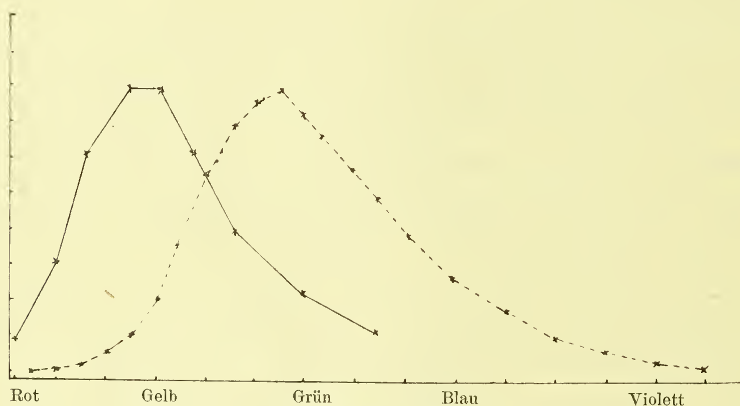


Fig. 6 (nach Piper).

In der Figur 6 ist die Helligkeitsverteilung über das Spektrum beim Tages- (gezogene Kurve) und Dämmerungssehen (punktierte Kurve) graphisch dargestellt, wobei die Gipfel der Kurven die hellste Stelle im Spektrum angeben.

Das Tages- und Dämmerungssehen wechselt im Sehorgan natürlich nicht plötzlich ab, sondern beide Empfindungsarten gehen allmählich ineinander über je nach dem Grade der bereits eingetretenen Dunkeladaptation. Das Sehorgan befindet sich gewissermaßen dauernd in einem labilen Zustande, und besonders die-

[1]) Die Zahl gilt nur für das prismatische Spektrum des Gaslichtes.

jenigen peripheren Teile der Netzhaut, welche eine besonders hohe Adaptationsfähigkeit besitzen, sind beständig je nach der Beleuchtung in einem wechselnden Zustande von Dunkeladaptation. Es ist für die Prüfung der Farbenempfindung von großer Wichtigkeit, daß sich der Einfluß des Dämmerungssehens auf den Farbensinn auch bei guter Tagesbeleuchtung in hellen Zimmern, nicht vollkommen ausschalten läßt und bei dem extrafovealen Farbensehen stets mit in Rechnung gezogen werden muß.

Der Zustand voller Helladaptation, bei welchem sich die ersten Spuren der Einwirkung des Dämmerungssehens auf den Farbensinn erst nach etwa 1 Minute Lichtabschluß bemerkbar macht, wird im Sommer nur durch Aufenthalt von wenigstens $^1/_4$ Stunde auf sonnenbeschienenem Platze erreicht, im Winter nur bei besonders günstigen Verhältnissen (Schnee) (Nagel).

Die Wirkung des beginnenden Dämmerungssehens auf das Farbensehen ist eine ganz charakteristische. Jeder hat an sich selbst bereits die Beobachtung gemacht, daß ein roter und blauer Gegenstand nebeneinander mit sinkender Beleuchtung allmählich ein verändertes Aussehen bekommen; während das Blau immer relativ heller und blaßblauer gesehen wird, erscheint das rote immer dunkler; es wird braun und schließlich nahezu schwarz (Purkinjesches Phänomen). Deswegen werden im allgemeinen bei sinkender Beleuchtung blaue Farben länger erkannt, als rote, die zuerst verschwinden.

Im Spektrum gewinnen mit abnehmender Beleuchtung die kurzwelligen Lichter relativ zu den langwelligen erheblich an Helligkeit, sie verlieren allerdings dabei etwas an Sättigung. In gleicher Weise verändern Pigmentfarben z. B. farbige Papiere ihre Farbe mit sinkender Beleuchtung. Da wir gerade die Farbenempfindung in den peripheren Teilen des Gesichtsfeldes mit farbigen Papierquadraten zu prüfen pflegen, ist die Kenntnis dieser Tatsache von großer Bedeutung. Rot erscheint auf schwarzem Grunde allmählich braun, Gelb wird schmutzig graugelb, Ultramarinblau wird länger blau gesehen wie rot erkannt wird und geht schließlich in helleres Graublau über, Blaugrün wird ebenfalls schmutziggraublau. Hellgrün und Hellblau werden zuweilen nicht mehr unterschieden, einzelne blaue Nuancen sollen zuweilen auch grünlich gesehen werden.

Da das Farbensehen also lediglich eine Eigenschaft des Tagsehens darstellt und unter dem Einfluß des Dämmerungssehens verloren geht, so muß bei jeder Prüfung des Farbensinnes der Einfluß des Dämmerungssehens möglichst ausgeschaltet werden. Dies ist auf zweierlei Weise zu erreichen:

1. Das Sehorgan soll in gut helladaptiertem Zustande gehalten werden. Die Untersuchung des Farbensinnes soll daher nicht in verdunkeltem Zimmer vorgenommen werden, sondern bei guter Tagesbeleuchtung.

2. Die Größe des farbigen Objektes soll wo irgend möglich so gering sein, daß sein Netzhautbild auf einen stäbchenfreien bezw. stäbchenarmen Netzhautbezirk fällt. Der ganz stäbchenfreie Bezirk der Fovea centralis beträgt nach den neueren Untersuchungen etwa 0,2 mm, was einem Gesichtswinkel von weniger als 1^0 entsprechen würde. Praktisch sind die Erscheinungen des Dämmerungssehens in einem zentralen Bezirk von etwa $1{,}5^0$ Durchmesser schon nicht mehr merkbar.

Umstimmung und Simultankontrast.

Der Zustand oder die Stimmung des Sehorganes ist aber nicht nur im Sinne der Dunkeladaptation veränderlich. Auch während des Tagsehens befindet sich das Sehorgan noch in anderer Weise in ständigem labilen und wechselndem Zustande. Dauernd wird die Empfänglichkeit für Farbensehen beeinflußt von dem zeitlich vorangehenden Farben-Eindrücken, und in gleicher Weise von dem Aussehen der Umgebung (Simultankontrast). Für diesen Einfluß kommen sowohl alle bunten Farben, wie auch die tonfreien Schwarz, Weiß und die grauen Zwischenstufen in Betracht.

Einige Beispiele mögen das Gesagte erläutern.

Läßt man ein bestimmtes z. B. rotes Licht (rotes Blatt Papier) längere Zeit auf das Auge einwirken, ermüdet man das Auge dafür, so macht sich allmählich eine Veränderung der Empfindung bemerkbar. Das Rot büßt nach und nach an Helligkeit und Sättigung ein, ja es ändert sogar auch seinen Farbenton; es wird gelblicher.

Diese Änderung des Farbentones äußert sich bei den verschiedenen Farben folgendermaßen: die langwelligen Spektralfarben bis zu einer Wellenlänge von etwa 500 $\mu\mu$ hinab (also rot, orange, gelb, grün) nähern sich einem Gelb. Die kurzwelligen Lichter (Blaugrün, Cyanblau, Indigo und Violett) nehmen dagegen einen blauen Farbenton an.

Blickt man nun aber nach der längeren Betrachtung der roten Scheibe auf eine grüne Fläche, so erscheint das Grün nunmehr ganz besonders schön gesättigt, wie es auch bei einfacher Betrachtung von Spektralfarben nie gesehen wird. Ganz allgemein wird durch längere Einwirkung einer bestimmten Farbe die Empfindlichkeit für die Komplementärfarbe gesteigert.

In ähnlicher Weise kommen auch die Nachbilder zustande; wenn man von dem roten Papierblatt fortblickt auf eine weiße gleichmäßige Fläche, so sieht man nunmehr das grüne Nachbild, ebenso umgekehrt gibt ein grünes Blatt ein rotes Nachbild. Dieselben Wechselbeziehungen bestehen zwischen Gelb und Blau und allen anderen Farben. Stets erscheint das Nachbild in der Komplementärfarbe der ursprünglichen Farbe.

In derselben Weise wird die Farbenempfindung durch die Umgebung ständig infolge Kontrastwirkung beeinflußt. Ein kleines rotes Papierquadrat sieht auf grünem Grunde besonders gesättigt rot aus; auf schwarzem Grunde dagegen erscheint es ungesättigter, weißlicher. Auf dieser Kontrastwirkung beruht die Florkontrastprobe (Meyer, Pflüger), welche zu diagnostischen Zwecken verwendet worden ist. Bedeckt man ein graues Quadrat oder einen grauen Buchstaben auf farbigem Grunde mit einem dünnen Seidenpapier, so erscheint durch das Papier hindurch das frühere Grau nunmehr deutlich in der Komplementärfarbe des Grundes.

Besonders auffällig ist die Erscheinung bei Schwarz und Weiß. Wir sehen ein tiefes Schwarz überhaupt nur dann, wenn wir die Umgebung möglichst hell, kontrastierend beleuchten.

So ist jede Farbe, die gesehen wird, ständig von der Farbe ihrer Umgebung abhängig und läßt sich jederzeit in Ton, Sättigung und Helligkeit lediglich dadurch verändern, daß Farbe und Beleuchtung ihrer Umgebung modifiziert wird. Kein Gegenstand löst demnach, auch bei unveränderter Beleuchtung, eine unveränderliche, wenn man will, absolute Farbenempfindung aus, sondern immer nur eine relative, die von der zeitlichen und räumlichen Umgebung abhängig ist.

Auch bei den Untersuchungsmethoden des Farbensinnes kommt dieser Faktor in Betracht. Es ist nicht gleichgültig, ob ein sehr kleines farbiges Objekt auf einem schwarzen oder farbigen Grunde gezeigt wird, so daß sich in jedem Falle ein einheitliches Vorgehen als notwendig erweist. Bei geringen Unterschieden der Tönung der Umgebung kommen freilich im allgemeinen die dadurch möglichen Fehler wenig in Betracht gegenüber den Gesamtfehlern und Beobachtungsschwankungen.

Die Farbenempfindung beim peripheren Sehen.

Alle bisher besprochenen Tatsachen beziehen sich auf das direkte Sehen, d. h. das Sehen mit der Makula lutea.

Nach der Peripherie des Gesichtsfeldes hin nimmt die Farbenempfindung allmählich ab, um schließlich in der äußersten Zone

nahezu ganz zu schwinden. Dabei erfolgt die Abnahme besonders schnell in der Umgebung der Fovea centralis, ähnlich, wie auch die Sehschärfe hier sehr schnell sinkt.

Angeblich beträgt, in Zahlen abgeschätzt, die Farbenempfindung 10^0 von der Fovea centralis entfernt noch etwa $^1/_4$, 20^0 etwa $^1/_{10}$—$^1/_{20}$, 35^0 etwa $^1/_{40}$. Jedoch ist zu beachten, daß derartige qualitative Bestimmungen solange unsichere Ergebnisse liefern müssen, als es noch keine brauchbare Messungsmethode des Farbensinnes gibt.

Das periphere Sehen wird gegenüber dem makularen für gewöhnlich durch verschiedene Momente beeinflußt, es kommen vor allem in Betracht:

1. Die physikalischen Verhältnisse der Makula lutea, durch welche für das foveale Sehen die verschiedenen Lichtstrahlen in ungleichem Grade absorbiert, bezw. zerstreut werden, z. B. spektrales Grün stärker als Rot. Diese Vorgänge fallen nunmehr für das periphere Sehen fort. Daher werden die gleichen Lichter peripher etwas anders gesehen wie foveal. Schon beim exzentrischen Betrachten der Rayleighgleichung kann man sich von diesem Unterschiede zwischen makularem und peripherem Sehen überzeugen. Die Feldhälfte, welche das Rot-Grüngemisch enthält, sieht gegenüber der anderen zu grün aus. Noch mehr macht sich die Erscheinung bei dem Sehen blauer Farben bemerkbar; bereits aus diesem Grunde müssen z. B. blaue Papierquadrate extrafoveal leichter erkannt werden, wie in direktem Sehen.

2. In physiologischer Hinsicht die verschiedene Stimmung des Sehorganes. Denn peripher von der Fovea beginnt sofort der Einfluß des vermehrten „Dämmerungssehens", das, wie bereits gesagt, in der Fovea centralis nur gering ausgesprochen ist. Betrachtet man z. B. ein blaues und rotes Feld, welche foveal gesehen gleich hell sind, bei peripherer Blickrichtung, so erscheint das blaue Feld sofort heller. Dieser Einfluß des Dämmerungssehens besonders auf das Sehen blauer Farben wird sich praktisch nie ganz vermeiden lassen, weil sich eben auch bei scheinbar guter Beleuchtung das Dämmerungssehen noch stets bemerkbar macht (vergl. S. 21). Immerhin ist bei der Untersuchung der peripheren Farbenempfindung darauf zu sehen, daß dieser Einfluß möglichst gering ist.

So kommt es, daß die Fovea centralis durch die physikalischen Verhältnisse und die geringere Adaptationsfähigkeit in dem Sehen blauer Farben stets dem extrafovealen Netzhautteilen unterlegen bleiben muß (s. die Theorien von Blau-Blindheit der Fovea S. 100).

3. in psychischer Hinsicht kann die Wahrnehmung farbiger Objekte beeinflußt werden durch ihre verschiedene Anziehungskraft auf die Aufmerksamkeit. Diese scheinen die einzelnen Farben in verschiedenem Grade zu besitzen. Man nennt sie auch die „Auffälligkeit" der Farben. So soll Rot die Aufmerksamkeit in besonders hohem Grade erregen.

Vergleicht man unter Berücksichtigung dieser Momente das direkte und indirekte Farbensehen miteinander, so ergeben sich für das helladaptierte Auge folgende Tatsachen.

A. Übereinstimmung der Farbenempfindung beim makularen und peripheren Sehen.

1. Zwei Lichter oder Lichtgemische, welche beim makularen Sehen die gleiche Farbenempfindung auslösen, sehen auch in der Peripherie des Gesichtsfeldes gleich aus. Die Farbenempfindung selbst kann sich natürlich dabei ändern, z. B. können zwei Lichter makular gleich grün aussehen, peripher aber weiß; nur ein Unterschied zwischen beiden tritt nicht auf.

2. Die Helligkeitsverteilung im Spektrum ist beim makularen und beim peripheren Sehen die gleiche. Das Maximum der Helligkeit liegt also stets dort, wo wir im Spektrum makular gelb sehen, ganz gleichgültig, in welchem Grade die Farbenempfindung bereits abgenommen hat und mit welchen Teilen der Gesichtsfeldperipherie wir das Spektrum betrachten mögen; erst mit zunehmender Dunkeladaptation treten Unterschiede auf.

B. Unterschiede der Farbenempfindung beim makularen und peripheren Sehen. Geht man wiederum von dem spektralen Bande aus, so besteht der Unterschied zwischen peripherem und makularem Sehen darin, daß die Anzahl der Farbentöne, die wir im Spektrum unterscheiden, mehr und mehr abnimmt. Gleichzeitig werden nach der Peripherie hin alle Farbentöne ungesättigter, weißlicher, bis sie schließlich nahezu oder ganz farblos werden.

Bei dieser allmählichen Vereinfachung des Farbensinnes müssen eine ganze Anzahl von Farben bei zunehmend peripherem Sehen ihren Farbenton ändern. Es gibt nur 4 Farbentöne, die in allen Teilen der Gesichtsfeldperipherie ihren Farbenton beibehalten und lediglich ihre Sättigung verlieren, d. h. allmählich weißlicher werden; es ist das ein bestimmtes sog. unveränderliches Rot, Grün, Gelb und Blau (Hess) (sie entsprechen dem Urrot, Urgrün, Urgelb und Urblau Herings). Das betreffende unveränderliche Rot ist unter den spektralen Farben nicht enthalten, sondern entspricht einem der Purpurtöne. Alles spektrale Rot und in gleicher Weise entsprechend getönte rote Pigmente (z. B.

Papiere) werden peripher betrachtet mehr und mehr gelblich; das gleiche ist auch mit Orange und Gelbgrün der Fall. Andererseits ändern Blaugrün und Violett ihren Ton, indem sie sich mehr und mehr dem unveränderlichen Blau nähern.

Dabei werden zwei gleich große Objekte von unveränderlichem Rot und Grün, sofern sie unter gleichen Beobachtungsbedingungen gesehen werden, genau in gleicher Entfernung vom Fixierpunkte im Gesichtsfelde farblos. Dasselbe gilt für das unveränderliche Gelb und Blau, nur daß der „Blaugelbsinn“ langsamer nach der Peripherie hin abnimmt, wie der „Rotgrünsinn.“

Prüft man demnach die Grenzen, bis zu welchen urrote, urgrüne, urgelbe und urblaue Felder im Gesichtsfeld noch farbig gesehen werden, so fallen bei gleichen Beobachtungsbedingungen die Grenzen für Rot und Grün zusammen, ebenso die für Blau und Gelb, wobei die letzteren eine größere Ausdehnung haben.

Läßt man sich von einem Beobachter den Moment angeben, in welchem ein farbiges Feld, das z. B. von der Peripherie nach dem Fixierpunkt hin bewegt wird, in dem Farbenton erkannt wird, den es im direkten Sehen hat, so bestimmt man die spezifische Sehwelle oder die spezifischen Grenzen des Gesichtsfeldes für die betreffende Farbe.

Infolge dieses Verhaltens kann man aus dem allmählichen Schwinden des Farbensinnes nach der Peripherie zu 2 Grade besonders hervorheben: Unter bestimmten Beobachtungsbedingungen erscheint

1. eine mittlere Gesichtsfeldzone „rotgrünblind“,
2. die äußerste Gesichtsfeldzone „total farbenblind“.

In dem Stadium der peripheren „Rotgrünblindheit“ sind im Spektrum die etwa 160 Farbentöne, die bei makularer Fixation unterschieden werden, zusammengeschmolzen auf 2, nämlich Gelb und Blau. Die „warme“ Spektralhälfte vom Rot bis Blaugrün erscheint gelb, die „kalte“ vom Blaugrün bis Violett blau. Beide Töne gehen in der Gegend, die unter gewöhnlichen Verhältnissen blaugrün aussieht (etwa bei 495 $\mu\mu$), durch Grau ineinander über. Dabei sehen bei dieser „peripheren Rotgrünblindheit“ die beiden Farbentöne Gelb und Blau ungesättigter aus, wie bei der angeborenen Rotgrünblindheit im fovealen Sehen (s. später).

Eine Vereinfachung der normalen Farbenempfindung in der Weise, daß alle die verschiedenen Farbentöne sich zwei Farben, nämlich Gelb und Blau nähern, während sie ihre Sättigung umso mehr einbüßen, je näher sie dem Purpur und Blaugrün stehen, haben wir nunmehr bereits auf drei verschiedene Weisen kennen gelernt; nämlich

a) bei hochgradiger Steigerung der Lichtintensität (S. 10),
b) bei der Farbenumstimmung (S. 22),
c) in der Peripherie des normalen Gesichtsfeldes.

Man kann diese Form der Vereinfachung der Farbenempfindung somit gewissermaßen als eine physiologische bezeichnen.

Geht man weiter nach der Peripherie des Gesichtsfeldes, so verlieren allmählich auch die beiden letzten Farbentöne, die der rotgrünblinden Zone, gelb und blau, ihre Sättigung vollkommen bis schließlich alle Lichter nur noch eine farblose Empfindung hervorrufen: die Zone der totalen Farbenblindheit der Gesichtsfeld-Peripherie ist erreicht.

Will man die Sehweise innerhalb dieser totalfarbenblinden Zone genauer prüfen, so hat man ähnlich zu verfahren, wie bei dem Dämmerungssehen (S. 20), d. h. man muß die Helligkeitsverteilung im Spektrum ermitteln. Die sich hierbei für die einzelnen homogenen Lichter ergebenden Reizwerte werden natürlich nicht Dämmerungswerte, sondern gewöhnlich „Peripheriewerte" genannt, die graphische Darstellung der Helligkeitsverteilung im Spektrum die Peripheriewertkurve. Ihr Aussehen deckt sich mit der Helligkeitsverteilung im Spektrum beim direkten Sehen (s. Fig. 6, S. 20).

Die Helligkeitsverteilung im Spektrum ist bei den Peripheriewerten die gleiche, wie für den normalen Farbensinn im makularen Sehen. Das Maximum der Helligkeit liegt somit im Gelb. Von dem Dämmerungssehen ist das Peripheriesehen in dieser Hinsicht vollkommen verschieden, denn bei ersteren liegt ja die größte Helligkeit im Grün.

Da nun das Dämmerungssehen eine Eigenschaft gerade der exzentrischen Netzhautteile ist, so bestehen in der Peripherie gleichsam zwei verschiedene Formen totaler Farbenblindheit nebeneinander, eine für das Tagessehen, dargestellt durch die „Peripheriewerte", und eine für das Dämmerungssehen, dargestellt durch die Dämmerungswerte. Bei Abnahme der Beleuchtung wird also das Helligkeitsmaximum im Spektrum nach dem kurzwelligen Ende hin (nach dem Grün) wandern.

Bei dieser peripheren Rotgrünblindheit und totalen Farbenblindheit handelt es sich jedoch nicht um eine eigentliche Farbenblindheit im Sinne etwa der angeborenen Farbenblindheit, sondern lediglich um eine quantitative Störung, eine herabgesetzte Empfindlichkeit für Farben. So ist denn auch die Abgrenzung dieser Zonen im Gesichtsfeld in hohem Grade von den Untersuchungsbedingungen abhängig.

Man kann nicht sagen, von so und soviel Grad an ist die Netzhaut rotgrünblind bezw. totalfarbenblind. Vielmehr lassen sich die Grenzen der Zonen desto weiter nach der Peripherie hin hinausschieben, je günstiger die Versuchsbedingungen gewählt

werden. Auf diese Weise kann die totalfarbenblinde Zone schließlich auf die alleräußerste Peripherie beschränkt werden, ja wahrscheinlich läßt sich mit geeigneten Untersuchungsmethoden auch hier noch eine Farbenempfindung erzielen. (Landolt u. a.)

So lassen sich die Untersuchungsbedingungen günstiger gestalten

1. durch die Vergrößerung der Objektfelder, welche als farbige Lichtreize verwendet werden; kleine Objekte, etwa Quadrate von 1 mm Seitenlänge liefern enge spezifische Gesichtsfeldgrenzen. Je weiter hinaus nach der Peripherie man die Gesichtsfeldgrenzen für Farben zu schieben wünscht, desto größer müssen die Quadrate gewählt werden, bis zu 20 mm Seitenlänge und darüber. Die Veränderung der Objektgröße, bezw. die Untersuchung mit verschieden großen farbigen Quadraten ist die gebräuchlichste klinische Untersuchungs-Methode, um die Gesichtsfeldgrenzen für die einzelnen Farben zu verändern. Durch allmähliche Verkleinerung der farbigen Quadrate kann man die Farbengrenzen von der größten peripheren Ausdehnung über das ganze Gesichtsfeld allmählich nach dem Fixierpunkt zu wandern lassen.

Betrachtet man mit einer Stelle der mittleren Zone der Netzhaut farbige Objekte von genügend kleinem Durchmesser, so findet man noch eine totale Farbenblindheit. Bei Vergrößerung der Objekte tritt allmählich für dieselbe Stelle Rotgrünblindheit, schließlich nahezu normale Farbenempfindung auf (vorausgesetzt, daß dabei Ermüdung ausgeschaltet wird, s. u.).

2. Durch Objekte in möglichst gesättigten Farben. Will man z. B. umgekehrt in der Nähe des Fixierpunktes die Bedingungen für die Erkennung der Farben möglichst ungünstig gestalten, um beginnende pathologische Ausfälle der Empfindung leichter und früh genug feststellen zu können, so nimmt man kleine und ungesättigte Objekte (auf schwarzem Grunde, s. u.).

3. Durch die Steigerung der Intensität (Lichtstärke) der farbigen Reize.

Will man mit kleineren farbigen Objekten noch an derselben Stelle des Gesichtsfeldes die gleiche Farbenempfindung erzielen, so muß die Lichtstärke der Objekte in entsprechendem Grade erhöht werden. So ergeben sich gewisse Wechselbeziehungen zwischen Gesichtswinkel, unter dem die Farbe gesehen wird, und Intensität, ebenso auch mit der Sättigung der Farben.

4. Durch die Wahl des Untergrundes. Am günstigsten ist ein grauer Untergrund von derselben Helligkeit, wie das Reizobjekt. Im allgemeinen wird bei Untersuchungen ein

dunkelgrauer bezw. („schwarzer") Untergrund für die Farben gewählt, da sich eine genau gleiche Helligkeit bei grauem Untergrund doch nicht erzielen lassen würde. Zu beachten ist, daß auf schwarzem Grunde sehr kleine farbige Quadrate weißlicher erscheinen müssen, weil sich hierbei der Simultankontrast Schwarz-Weiß bemerkbar macht und die betreffende Farbe gleichsam übertönt.

5. Durch Vermeidung der Ermüdung. Ein weißes und farbiges Objekt nebeneinander erscheinen bei indirekter Betrachtung nach ganz kurzer Zeit völlig gleich, um bei geringer Blickwendung wieder deutlich unterschieden zu werden. Bei streng innegehaltener zentraler Fixation z. B. am Perimeter ermüden die peripheren Netzhautpartien viel schneller und vollständiger, als dies im direkten, fovealen Sehen der Fall ist (s. Umstimmung, S. 22).

Aus diesem Grunde wird bei klinischen Untersuchungen des peripheren Farbensinnes das farbige Objekt auf dem Perimeterbogen in möglichst gleichmäßigen oszillierenden Bewegungen bewegt; denn wenn es stillstände, würde es schon in geringe Entfernung vom Fixierpunkt sehr schnell auch dann farblos erscheinen, wenn es eine beträchtliche Größe besitzt.

In welcher Weise die hier angeführten Tatsachen über das periphere Farbensehen für die Technik der klinischen Gesichtsfeldprüfung verwertet und berücksichtigt werden müssen, darüber ist in dem betreffenden Kapitel nachzulesen.

Die angeborenen Störungen des Farbensinnes.

Geschichtliches. Der erste Fall von Farbenblindheit wurde im Jahre 1777 beschrieben (Huddart). 1794 studierte der berühmte Dalton das Sehen der Farbenblinden an sich selbst — er gehörte nach Nagel denjenigen Partiellfarbenblinden an, die später (S. 40) als Protanopen beschrieben werden. Dagegen soll die in der älteren Literatur so häufige Bezeichnung Daltonismus für Farbenblindheit etwa um das Jahr 1827 geprägt sein (Jeffries), während „Colourblindness" die Farbenblindheit dann von Brewster genannt wurde. Wenn auch schon von Seebeck 1837 systematische Untersuchungen über das Vorkommen der Farbenblindheit vorgenommen waren, erlangte die Anomalie ihre praktische Bedeutung doch erst durch die Arbeiten des schwedischen Physiologen Holmgreen, der darauf hinwies, daß das Eisenbahnunglück bei Lagerlunda in Schweden (1875) der Farbenblindheit des Maschinenführers zuzuschreiben war. Bald darauf wurde in einer ganzen Reihe von europäischen Staaten eine obligatorische Untersuchung auf Farbenblindheit —

meist nach Holmgreens Verfahren — für den Eintritt in den Eisenbahn- und Marinedienst eingeführt (so 1876 in der schwedischen Eisenbahn und Marine, 1877 vom Handelsministerium in Preußen, 1879 in Wien usw.). Das Holmgreensche Untersuchungsverfahren wurde jedoch nicht immer in richtiger Weise von seiten der Ärzte angewendet; die Folge davon war, daß eine ganze Anzahl Farbenblinder durchschlüpften, außerdem jedoch vor allem die große Gruppe von Individuen, welche wir heute als anomale Trichromaten zu bezeichnen pflegen. Erst auf Betreiben des leider so früh verstorbenen Rostocker Physiologen Nagel wurde vor einer Reihe von Jahren in der kaiserlichen Marine und bei der Eisenbahnverwaltung die schärfere Kontrolle mit Hülfe der Nagelschen Tafeln eingeführt.

Alle angeborenen Störungen des Farbensinnes stellen im Gegensatz zu der Mehrzahl der erworbenen dauernde, d. h. unheilbare Störungen dar.

Man hört zwar nicht selten von Patienten, welche zum Eisenbahn- oder Marinedienst zugelassen zu werden wünschen, daß sich ihr Farbensehen „gebessert" habe, stets handelt es sich jedoch nur um ein möglichstes Ausnutzen von allerlei Nebenumständen, die zu einem Erraten der Farbe führen können, besonders innerhalb eines bekannten Betriebes. Von einer wirklichen Besserung des Farbensehens kann keine Rede sein und an den entsprechenden Untersuchungsmethoden machen die Farbenblinden stets wieder ihre typischen Verwechselungen bezw. Farbeneinstellungen.

Die angeboren Farbenblinden unterscheiden sich ferner von vornherein von allen, die eine Farbensinnstörung erworben haben, dadurch, daß sie keine Erinnerungsbilder an einen normalen Farbensinn besitzen können.

Dadurch wird die Beurteilung der Qualität ihres Farbensehens sehr erschwert; denn wir können uns als Normale durchaus nicht in die Empfindungen eines Farbenblinden ohne weiteres hineinversetzen.

Der Farbenblinde seinerseits hat an bekannten Dingen des täglichen Lebens gelernt, für viele farbige Gegenstände die gleichen sprachlichen Bezeichnungen anzuwenden, wie der Normale. Er wird daher im allgemeinen unsere Farbenbenennungen mit seinen Empfindungen verknüpfen und z. B. das Gras ebenfalls grün nennen. Daß diese Empfindungen von denen des Normalen abweichen, braucht ihm nicht zum Bewußtsein zu kommen; denn er hat das Recht, sein Farbensehen für ebenso richtig zu halten, wie jeder Normale das seine, wenigstens so lange, bis er sich an ihm fremden Gegenständen überzeugt hat, daß seine Art des Sehens in der Tat von dem der meisten Menschen abweicht.

Daraus ergibt sich für die praktische Untersuchung auf Farbenblindheit die wichtige Folge, daß man sich von den angeboren Farbenblinden dessen Empfindungen nicht immer einfach beschreiben oder benennen lassen kann, wie beim Normalen oder bei der erworbenen Farbenblindheit, wenn man nicht, besonders bei schnellen Untersuchungen, schwere Täuschungen erleben will. In der Tat tragen auch fast alle modernen Untersuchungsmethoden diesem Umstande Rechnung.

Häufigkeit und Einteilung der Farbensinnstörungen. Im allgemeinen sind die angeborenen Farbensinnstörungen sehr viel häufiger, als der Laie denkt. Die Gesamtzahl derjenigen, welche nicht einen normalen Farbensinn besitzen, beträgt mindestens etwa 7—8% aller Männer[1]), während merkwürdiger Weise eine äußerst geringe Zahl von Frauen farbenblind ist (noch nicht 1%).

Die zahlreichen Untersuchungen der letzten Jahre haben die Verhältnisse der angeborenen Störungen des Farbensinns soweit geklärt, daß man einen Überblick über die verschiedenen Formen geben kann. Diese Formen bilden zum Teil scharf voneinander getrennte Typen, zwischen denen noch keine Zwischenformen beobachtet worden sind, während andere wieder untereinander eine Stufenleiter verschiedener Grade von Farbensinnstörung bilden, die anscheinend völlige Übergänge von nahezu totalem Verlust des Farbenunterscheidungsvermögens bis hinauf zum normalen Farbensinn bilden können.

Die Einteilung der einzelnen Formen erfolgt aus den schon genannten Gründen am besten nicht nach den Farbenbenennungen seitens der Farbenblinden, sondern nach den Gesetzen der Lichtmischung.

Gleich an dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß in der Praxis bei der Untersuchung auf Tauglichkeit für Eisenbahn- und Marinedienst eine gutachtliche Unterscheidung der Patienten nach den einzelnen Formen nicht erforderlich ist. Die Untauglichen werden einfach als „F a r b e n u n t ü c h t i g“ von den „F a r b e n t ü c h t i g e n“ ausgeschieden. Hierauf nehmen auch Untersuchungsmethoden wie z. B. die N a g e l schen Tafeln Rücksicht. Dagegen ist die Trennung in die einzelnen Typen dann notwendig, wenn die Möglichkeit einer erworbenen Farbensinnstörung in Frage kommt und eine Entscheidung hierüber gewünscht wird.

[1]) Rechnet man geringe Abweichungen von dem normalen Farbensinn, wie sie mit Hülfe der Rayleighgleichung gefunden werden, die aber praktisch noch als farbentüchtig gelten können, hinzu, so übersteigt der Prozentsatz 10% wesentlich (Köllner 29).

Man unterscheidet dementsprechend folgende Haupttypen angeborener Farbensinnstörung:

1. Monochromatisches System (achromatisches Sehen), angeborene totale Farbenblindheit. Alle die verschiedenen Lichter werden nur hell und dunkel, aber farblos empfunden. Man kann daher mit jedem Lichtreiz immer die gleiche Sehqualität hervorrufen, lediglich dadurch, daß man seine Lichtstärke verändert. Das monochromatische oder achromatische Sehen ist somit die einfachste, aber schwerste Form der angeborenen Farbensinnstörungen.

2. Das dichromatische Sehen (dichromatische Systeme). Es genügt bereits eine Mischung aus zwei passend gewählten spektralen (homogenen) Lichtern, um alle überhaupt möglichen Empfindungen des Farbenblinden auszulösen (vergl. unter „Farbenmischung" S. 17) lediglich dadurch, daß man das Mischungsverhältnis der beiden Lichter und ihre Intensität verändert. Die dichromatischen Systeme stellen den größten Teil der im Volke bekannten Farbenblindheit dar.

3. Die anomal-trichromatischen Systeme (Farbenschwäche). Es sind ebenso wie beim Normalen mindestens drei Spektrallichter notwendig, um gemischt alle anderen Lichtreize zu ersetzen, d. h. um alle möglichen Farben-Empfindungen hervorzurufen. Doch unterscheiden sich die „Anomalen" vom Normalen durch ein gewisses herabgesetztes Unterscheidungsvermögen. Sie bilden in ihren verschieden schweren Formen vollkommene Übergänge vom normalen Farbensinn bis zu den dichromatischen Systemen. Ihre Häufigkeit ist mindestens ebenso groß wie die der Dichromaten (ca. 3—4% aller Männer).

A. Monochromatisches Farbensystem
(Achromatisches Sehen, angeborene totale Farbenblindheit).

Die Farbenempfindung ist bei den total Farbenblinden lediglich auf die Unterscheidung von Helligkeiten beschränkt, und jedes Sehen von Farbentönen geht ihnen vollkommen ab. Die ganze Außenwelt erscheint ihnen daher völlig „eintönig", „grau in grau", wenn man will. Sie sehen sie etwa so wie wir eine Photographie sehen.

Ebenso wie eine Photographie uns einfarbig bleibt, aber doch auf verschieden getöntem Papier abgegeben werden kann, so ist bei dem total Farbenblinden ohne weiteres noch nicht gesagt, daß seine Empfindung, sein einer Farbenton, wenn man sich so ausdrücken darf, sich mit dem deckt, was der Normale farblos nennt, oder ob nicht vielmehr eine Übereinstimmung mit irgend einem bunten Ton besteht, etwa Blau. Dessen würde sich der Farbenblinde

natürlich nicht bewußt zu werden, da er die Erinnerung an das normale Farbensehen nie besessen hat.

Auch das spektrale Band muß der Totalfarbenblinde lediglich als einen farblosen Streifen von verschiedener Helligkeit sehen. Bestimmt man die Helligkeitsverteilung über das Spektrum — in gleicher Weise, wie es bei den Dämmerungswerten geschieht (s. S. 20) — so zeigt sich sehr deutlich, daß die hellste Stelle nicht wie beim Normalen im Tagsehen in der Gegend des Gelb liegt, sondern weiter nach dem kurzwelligen Ende verschoben erscheint, nämlich im Grün liegt. Außerdem wird der langwellige rote Teil des Spektrums relativ zum Blau auffallend dunkel gesehen. Überhaupt stimmt die Helligkeitsverteilung im Spektrum der Totalfarbenblinden so gut wie vollkommen überein mit derjenigen im Dämmerungssehen des Normalen, wo bekanntlich ebenfalls das Helligkeitsmaximum im spektralen Grün liegt (Fig. 7).

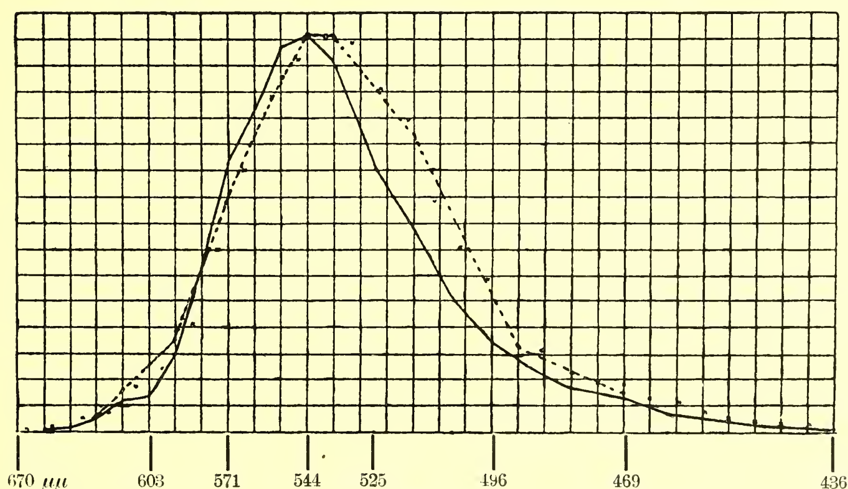


Fig. 7.
Helligkeitsverteilung im Spektrum des Gaslichtes für den Total-Farbenblinden (··············) und für das Dämmerungssehen des Normalen (————) (aus v. Kries, Ueber Farbensysteme).

In diesem eigentümlichen Verhalten unterscheidet sich die angeborene totale Farbenblindheit von allen Formen der erworbenen.

Diese charakteristische Helligkeitsverteilung im Spektrum ist in konstanter Weise vorhanden, gleichviel, ob bei Tagessehen oder Dämmerungssehen untersucht wird. Der Vorgang der Dunkeladaptation verläuft dabei durchaus normal und ist zum mindesten nicht merklich herabgesetzt.

Praktisch tritt die totale Farbenblindheit wegen ihrer Seltenheit und bei ihrer leichten Erkennbarkeit gegenüber den Formen der partiellen Farbenblindheit vollkommen zurück.

Wollen die Farbenblinden ihren Fehler verbergen, so müssen sie sich mühsam damit durchhelfen, nach der Gestalt der Gegenstände, dem Glanz usw. zu urteilen. Außerdem haben sie ja gesagt bekommen, daß die Bäume grün sind usw. Natürlich werden sie, wenn irgend möglich, mit ihrem Urteil zurückhalten. Für Helligkeitsunterschiede dagegen haben sie oft ein sehr feines Empfinden, sie müssen ihnen ja auch alle anderen Sehqualitäten ersetzen.

Die klinischen Begleiterscheinungen stehen überdies im Vordergrunde, sie sind es auch, welche den Patienten meist zum Arzte führen. Auffällig ist beim ersten Anblick die Lichtscheu des Patienten und der Nystagmus. Dieser ist gewöhnlich kleinschlägig und kann bei hellem Licht zunehmen, doch kommt auch langsamer großschlägiger Nystagmus vor. Übrigens kann sich das Augenzittern allmählich verlieren. Die zentrale Sehschärfe ist stets herabgesetzt, günstigstenfalls beträgt sie $^1/_4$—$^1/_3$ der normalen, oft auch darunter. Meist besteht gleichzeitig als Refraktionsanomalie ein Astigmatismus, dessen Korrektion keine wesentliche Hebung der Sehschärfe zeitigt. Wegen dieser herabgesetzten Sehschärfe scheiden die Totalfarbenblinden für viele Berufszweige schon von vornherein aus.

Bei sorgfältiger Gesichtsfeldprüfung ließ sich bei vielen der Fälle ein zentrales Skotom nachweisen, während es in anderen wieder nicht gefunden werden konnte. Dieses Skotom der Totalfarbenblinden hat deswegen ein gewisses Interesse, weil es im Kampfe um die Farbensinntheorien eine erhebliche Rolle gespielt hat, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann.

Zum Nachweis eines derartigen Skotoms empfiehlt sich ein ringförmiges Fixationsobjekt zu benutzen und die Untersuchung bei herabgesestzer Beleuchtung vorzunehmen. Für punktförmige Objekte von 1 mm Durchmesser kann dann ein absolutes Skotom bestehen. Derartige Untersuchungen müssen unter Umständen nochmals wiederholt werden; schon wegen des Nystagmus sind sie nicht leicht. Eine Modifikation zum Nachweis des Skotoms hat Grunert (s. Fußnote auf S. 35) angegeben.

Nicht selten sind mehrere Geschwister gleichzeitig erkrankt, wobei in den Familien noch andere Farbensinnanomalien vorkommen können. Auch bei Konsanguinität der Eltern wird totale Farbenblindheit beobachtet. Das männliche Geschlecht ist bevorzugt gegenüber dem weiblichen (etwa 2: 1). Andere Entwickelungsstörungen werden zuweilen gleichzeitig beobachtet, so Membrana pupillaris perseverans, Hörstörungen.

Die Übereinstimmung der angeborenen totalen Farbenblindheit mit dem Dämmerungssehen des Normalen hat zu der Annahme geführt, daß bei dem total Farbenblinden das Sehen auf die Dämmerungsorgane der Netzhaut be-

schränkt ist, daß es ein Stäbchensehen ist, und daß die Zapfen überhaupt nicht funktionieren. Auch das Vorhandensein des zentralen Skotoms und die Herabsetzung der makularen Sehschärfe wurde für diese Annahme verwertet [1]).

B. Die dichromatischen Farbensysteme
(partielle Farbenblindheit, auch schlechtweg Farbenblindheit genannt).

Das Farbensehen eines Menschen wird dichromatisch genannt, wenn schon eine Mischung zweier Lichter, welche aus den beiden Enden des Spektrums gewählt werden, ausreicht, um alle ihm möglichen verschiedenen Farbenempfindungen auszulösen.

Der Dichromat unterscheidet nur 2 Farbentöne (außer den Abstufungen von Schwarz zu Weiß), während der Normale bekanntlich eine sehr große Anzahl sieht.

Die dichromatischen Farbensysteme sind die wichtigsten Störungen des Farbensinnes. Nicht nur der Praktiker muß sie kennen, weil ihnen die häufigsten Formen der angeborenen partiellen Farbenblindheit angehören, deren Erkennung für den Verkehrsdienst so große Bedeutung hat. Auch für den Physiologen spielen sie keine geringe Rolle. Denn an ihnen lassen sich technisch leicht und exakt die Verhältnisse der Lichtmischung untersuchen, deren Ergebnisse mit die Grundlage bilden für das Studium des Aufbaues auch des normalen Farbensinnes.

Die Lichtmischung bei den dichromatischen Farbensystemen, die Aichung.

Auch ein großer Teil der erworbenen Störungen des Farbensinnes stellen dichromatisches Sehen in dem oben genannten Sinne dar. Oftmals wird es nur möglich sein, mit Hülfe der quantitativen Lichtmischung hier sich einen Einblick in die Art des Farbensehens zu verschaffen, wie sie zur Analyse der angeborenen Farbenblindheit von Seiten der Physiologen angewendet worden ist. Aus diesem Grunde ist es schon zum Verständnis der späteren Ausführungen bei der erworbenen Farbenblindheit notwendig, auf die Hauptzüge

---

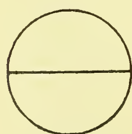
[1]) Ausführlich sind die Literatur sowie die gesamte Symptomatologie und die herrschenden theoretischen Anschauungen besprochen in der vorzüglichen Monographie Grunerts, Ueber angeborene totale Farbenblindheit, Graefes Archiv **56**, S. 132 (1903). Vergl. ferner Hessberg, Klin. Monatsbl. f. Aug. **47** (II) S. 129 (1909); May, Zeitschr. f. Sinnesphysiol. **42**, S. 69 (1907.)

der speziellen Lichtmischung bei den angeboren dichromatischen Systemen einzugehen.

Um die Sehweise des Dichromaten kennen zu lernen, genügt es nämlich nicht, festzustellen, daß oder ob 2 Lichter ausreichen, um gemischt alle ihm möglichen Empfindungen hervorzurufen, also mit anderen Worten nachzuweisen, daß ein dichromatisches Farbensystem vorliegt. Um die verschiedenen Arten des dichromatischen Sehens zu trennen, ist dazu eine quantitative Untersuchung der Lichtmischungsverhältnisse notwendig. Es steht zu erwarten, daß jedes Mal, wenn das Farbensehen zweier Dichromaten auch nur um etwas voneinander abweicht, sich das durch geeignete quantitative Lichtmischung zahlenmäßig nachweisen läßt, und umgekehrt, daß bei gleichem quantitativem Untersuchungsergebnis auch die Sehweise der Dichromaten die gleiche sein wird.

Eine derartige quantitative Untersuchung der Lichtmischungsverhältnisse wird gewöhnlich in Gestalt der sogenannten „Aichung“ des Spektrums vorgenommen. Ihre technische Ausführung (vergl. für erworbene Farbensinnstörungen S. 382ff.) setzt, abgesehen von Übung in derartigen exakten Untersuchungen, weder besondere physikalische oder mathematische Kenntnisse voraus. Auch die Ergebnisse der Aichung, d. h. die Tabellen und Kurven können von jedem verstanden werden, der sich ihre Bedeutung erst einmal klargemacht hat und mit den Grundgesetzen der Lichtmischung überhaupt einigermaßen vertraut ist.

Die Aichung eines Spektrums bedeutet weiter nichts, als die quantitative Bestimmung der Mengenanteile der beiden Spektrallichter, welche beim Dichromaten zur Mischung notwendig sind, um die gleiche Farbenempfindung hervorzurufen, wie die Reihe der übrigen Spektrallichter.


Fig. 8.

Die beiden Mischlichter werden gewöhnlich als „Aichlichter“ bezeichnet; sie werden zweckmäßig aus den beiden Enden des Spektrums gewählt, entsprechen also dem, was der Normale spektrales Rot und Blau nennt. Die sich für die Mengenanteile ergebenden Werte werden als „Aichwerte“ bezeichnet.

Die Ausführung der Aichung gestaltet sich etwa folgendermaßen (näheres über Technik s. a. S. 382):

Man geht von dem Spektrum einer gebräuchlichen (möglichst konstant brennenden) Lichtquelle aus, erleuchtet die eine Hälfte des Objektfeldes (Fig. 8) mit einem homogenen Licht z. B. 500 $\mu\mu$ (blaugrün) und die andere mit einem Gemisch aus einem langwelligen und einem kurzwelligen Licht, sagen wir

670 μ (rot) und 450 μ (indigo)[1]). Dieses Zweifarbengemisch wird nun so lange in Mischungsverhältnis und Helligkeit verändert, bis beide Feldhälften völlig gleich gesehen werden. Sind zur Mischung beispielsweise 10 Teile (rot) und 40 Teile (blau) erforderlich gewesen, dann stellen 10 und 40 die beiden Aichwerte für das Licht von 500 $\mu\mu$ dar. In der gleichen Weise wird die Bestimmung für eine ganze Reihe von homogenen Lichtern wiederholt (gewöhnlich werden die Aichwerte für etwa 15—20 Spektrallichter bestimmt).

Auf diese Weise erhält man für jedes homogene Licht zwei Aichwerte (entsprechend der Zahl der verwendeten Aichlichter). Schreibt man die Werte für die einzelnen Spektrallichter untereinander, so erhält man bei 15 verschiedenen Lichtern 2 Kolumnen „Aichwerte" von je 15 Werten (vergl. Tabelle S. 38).

Durch die Aichung sind die Gesetze der Farbenmischung für die dichromatischen Systeme zahlenmäßig festgelegt. Sie ergibt lediglich, welche Lichter und Lichtgemische bei ihrer Einwirkung auf das Sehorgan gleiche Farbenempfindungen auslösen. Die Beschaffenheit dieser Empfindungen wird jedoch durch sie keineswegs bestimmt. Man kann den Aichwerten nicht ansehen, welche Farbentöne der Dichromat etwa im Spektrum unterscheidet, ob Gelb und Blau, oder Rot und Grün usw.

Lediglich zur größeren Übersicht bedient man sich anstatt der Angabe der Aichwerte häufig lieber der graphischen Darstellung.

Man trägt in ein Koordinatensystem als Abszisse die Wellenlängen der homogenen Lichter ein, für welche man die Aichwerte bestimmt hat. Als Ordinaten werden dann für jedes dieser homogenen Lichter die gefundenen Aichwerte eingetragen. Verbindet man dann die Werte jedes der beiden Aichlichter durch eine Kurve miteinander, so erhält man soviel Kurven wie Aichlichter (oder auch Aichwertkolumnen) vorhanden sind; für die dichromatischen Farbensysteme ergeben sich also stets zwei (s. Fig. 9).

Diese beiden Kurven werden die **Aichwertkurven** genannt. Sie stellen weiter nichts dar, als die Mengenanteile der zur Mischung verwendeten beiden Spektrallichter. Sie sind also lediglich der Ausdruck experimentell gefundener Tatsachen. Mit einer Farbensinntheorie, etwa mit der Helmholtzschen Dreikomponententheorie haben sie bis auf die äußere Ähnlichkeit nichts zu tun. Im Gegenteil, ein Zusammenwerfen beider würde besonders bei den erworbenen Störungen des Farbensinnes zu großen Trugschlüssen führen (s. später).

Die Ergebnisse der Aichung bei den angeboren dichromatischen Systemen.

Die Aichung angeborener Farbensysteme ist wiederholt unter Beobachtung aller Vorsichtsmaßregeln ausgeführt worden. Sie

[1]) Das Objektfeld soll möglichst einen Durchmesser von 1,5° nicht überschreiten (s. S. 22).

hat ergeben, daß es sich nicht um ein einheitliches System handelt, wie etwa die totale Farbenblindheit. Vielmehr heben sich sofort 3 verschiedene Grundformen dichromatischen Sehens hervor, zwischen denen trotz zahlreicher Untersuchungen bisher keinerlei Übergänge existieren. Besonders zwei dieser Typen kehren, wenn man von unbedeutenden Schwankungen der gefundenen Werte absieht, in regelmäßiger und gleicher Form wieder.

Sieht man sich die Aichwerte näher an, so bemerkt man, daß die beiden Kolumnen von Werten, die sich für jede Type der dichromatischen Systeme ergeben (s. Tabelle), bei den einzelnen Fällen zwar an absoluter Höhe der Wertzahlen verschieden sein können (sie hängt von den Untersuchungsbedingungen ab), daß deren relative Höhe, d. h. ihre Beziehungen zueinander, jedoch kaum voneinander abweichen. Für die erste und zweite Form sind als Beispiel die Aichwerte auf untenstehender Tabelle angegeben.

Tabelle.

(Aichwerte für Protanopie und Deuteranopie nach v. Kries.)

Wellenlänge des homogenen Spektrallichtes	I. Protanopie		II. Deuteranopie	
	Werte des langwelligen Aichlichtes	Werte des kurzwelligen Aichlichtes	Aichwerte des langwelligen Aichlichtes	Aichwerte des kurzwelligen Aichlichtes
679 $\mu\mu$	5,3	—	33	—
656	9,1	—	48	—
642	19	—	79	—
628	38	—	107	—
615	63	—	147	—
603	90	—	151	—
591	109	—	137	—
581	111	—	124	—
571	120	—	103	—
561	108	—	82	—
552	92	—	64	—
544	78	—	52	—
536	65	—	41	6,3
525	38,3	11	26	12
515	20,6	34	15	28
505	9,8	35	7,7	36
496	4,8	47	3,7	48
488	2,2	57	1,6	62
480	0,9	66	0,9	64
469	0,3	67	0,3	70
461	—	54	—	67

In viel übersichtlicherer Weise, wie mit den Aichwerten, kann man sich die einzelnen Typen an der graphischen Darstellung, den Aichwertkurven klarmachen.

Wenn man die Kurven der 3 Typen miteinander vergleicht, so findet man sehr schnell, daß von den beiden Kurven jedes dichromatischen Typus immer die eine in Lage und Form mit einem der beiden anderen Typen übereinstimmt (s. Figur 9).

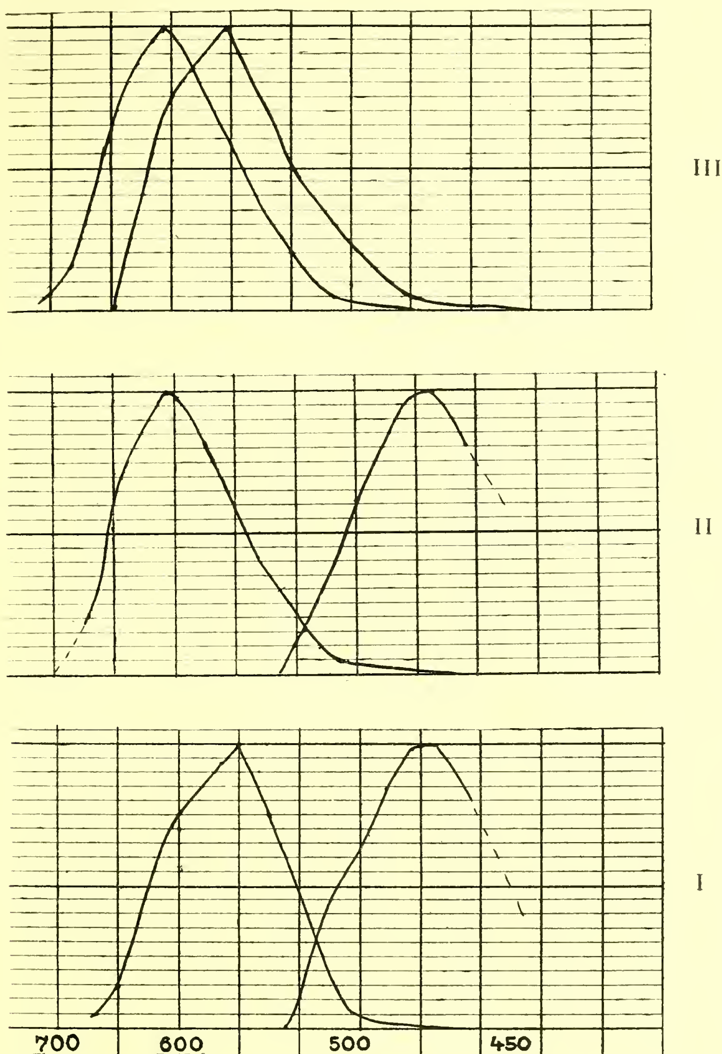


Fig. 9.

I. Aichwertkurven eines protanopischen Systems, II. Kurven eines deuteranopischen Systems, beide konstruiert nach den Werten von Kries.
III. Schematische Darstellung der Kurven eines tritanopischen Systems.
(Die Zahlen bedeuten die Wellenlängen des spektralen Lichtes in $\mu\mu$.)

Besonders bei den genauer untersuchten beiden ersten Typen ist das der Fall. Es gibt gleichsam nach den bisherigen Erfahrungen nur 3 verschiedene Aichwertkurventypen bei den typischen angeborenen dichromatischen Systemen. Bei jeder Type der di-

chromatischen Systeme fehlt eine dieser Kurven. Infolgedessen hat man diese drei Arten des dichromatischen Sehens auch mit den Namen Protanopie, Deuteranopie und Tritanopie (v. Kries) bezeichnet. Bei der ersteren ist die erste der 3 Aichwertkurven nicht mehr nachweisbar, bei der Deuteranopie die zweite und endlich fehlt bei der Tritanopie die dritte Kurve. Die genannten Namen stützen sich also auf die experimentellen Tatsachen der Lichtmischung und sind nicht an eine Theorie gebunden.

Die Aichwerte und ihre Kurven lehren zunächst, daß ebenso wie sie, so auch das Farbensehen bei der Protanopie, Deuteranopie und Tritanopie untereinander verschieden sein muß, wenigstens hinsichtlich des Helligkeitsverhältnisses, in dem die Lichter eines Spektrums gesehen werden; denn wäre dies nicht der Fall, wäre das Farbensehen bei allen drei gleich, so müßte eben auch das Mischungsverhältnis der beiden Misch- oder Aichlichter bei allen drei übereinstimmen und infolgedessen auch die darnach konstruierten Kurven.

Es zeigt sich ferner, daß Protanopie und Deuteranopie sich ziemlich nahe stehen bezüglich des Farbensehens, denn bei beiden gehört die eine Kurve vorwiegend der langwelligen (warmen) Hälfte des Spektrums, die zweite vorwiegend der kurzwelligen (kalten) Hälfte an.

Im Gegensatz dazu liegen bei der Tritanopie beide Kurven hauptsächlich in derselben langwelligen Spektralhälfte. Man könnte also die drei Formen wiederum in zwei Hauptgruppen einteilen, nämlich

I. Gruppe { Protanopie
Deuteranopie
II. Gruppe Tritanopie.

In der Tat hat bei der Protanopie und Deuteranopie die Farbenempfindung sehr viel Ähnlichkeit miteinander, sodaß sie gemeinsam auch als angeborene Rotgrünblindheit zusammengefaßt werden können, während bei der Tritanopie das Farbensehen sich etwa gerade entgegengesetzt verhält (Gelbblaublindheit).

I. Die angeborene Rotgrünblindheit (Protanopie und Deuteranopie).

Die Namen, mit denen man diese Gruppe oder ihre beiden Typen bezeichnet hat, sind nicht alle glücklich gewählt. Sie bezeichnen entweder die Art des Farbensehens ähnlich wie „Rotgrünblindheit" (z. B. Gelbblausichtigkeit, Anerythrochloropie, Xanthokyanopie) oder die beiden Typen wurden mit Rücksicht auf theoretische Erwägungen mit Rotblindheit (entspricht der Protanopie) und Grünblindheit (entspricht der Deuteranopie) bezeichnet. Diese beiden Namen werden jedoch besser ganz vermieden, weil bei physiologisch wenig Vorgebildeten leicht die Vorstellung erweckt wird, daß der eine Farbenblinde „Rot" nicht sieht, dagegen grüne Farben, der andere umgekehrt „Grün" nicht empfindet, aber Rot sieht, ja, daß womöglich ein „Rotgrünblinder" eine Summierung beider Formen aufweist, d. h. einen höheren Grad darstellt. Das ist nach dem bereits Gesagten natürlich vollkommen unrichtig; sowohl der „Rotblinde" wie der „Grünblinde" sind „rotgrünblind" und unterscheiden sich nur in verhältnismäßig geringer Weise (s. S. 46). Besser ist es jedenfalls, diese Ausdrücke zu vermeiden und für die beiden Unterarten der Rotgrünblindheit vorläufig die Namen Protanopie

und Deuteranopie beizubehalten, da sie auf die Farbenempfindung nicht eingehen und sich eben nur auf die experimentellen Tatsachen der Lichtmischung stützen.

Vorkommen der Rotgrünblindheit.

Die Rotgrünblindheit stellt vorwiegend diejenige Anomalie dar, welche der Laie im täglichen Leben schlechtweg als Farbenblindheit bezeichnet. Nach unseren heutigen Erfahrungen bilden sie fast nahezu die Gesamtzahl der angeborenen Dichromaten überhaupt. „Rotgrünblind" sind etwa $3^{1}/_{4}\%$ aller Männer. Von den beiden Typen überwiegen die Deuteranopen im allgemeinen die Protanopen an Zahl (ca. 100 : 30).

Man hat früher geglaubt, daß bei der Häufigkeit der Farbenblindheit Rassenunterschiede eine Rolle spielen. So sollten unter den Juden sich vielmehr Farbenblinde befinden, wie unter den Christen (Magnus, Cohn). Die neueren Untersuchungen haben jedoch diese Ansicht bis jetzt nicht bestätigt (Carl, Guttmann). Die Farbenblindheit kommt übrigens ebenso bei unzivilisierten Völkern vor.

Daß die Farbenblindheit vererbt werden kann, steht wohl heute außer Zweifel. Wenn man sich bei Farbenblinden erkundigt, bekommt man zuweilen zu hören, daß unter den Vorfahren oder den Geschwistern (Brüdern) ebenfalls Farbenblindheit zu finden ist. Auch Stammbäume sind aufgestellt worden (Nagel, 15, Guttmann, 14). Von einem bestimmten Vererbungstypus kann man jedoch zur Zeit noch nicht sprechen. Übrigens kommt innerhalb einer Familie offenbar Farbenblindheit und Farbenschwäche gleichzeitig vor, überhaupt findet sich die Vererbung in gleicher Weise auch bei der Farbenschwäche (s. später), die, wie wir sehen werden, ohne scharfe Grenze in die Farbenblindheit übergeht.

Die Farbenblindheit tritt nahezu ausnahmslos doppelseitig auf, leider, denn dadurch entgeht dem Forscher die Möglichkeit, die Empfindungen zu vergleichen, welche beim Sehen mit dem farbenblinden und dem normalen Auge auftreten würden.

Ein Fall von einseitiger Rotgrünblindheit, der wahrscheinlich angeboren war, wurde von v. Hippel (1) beschrieben. Es ist durchaus möglich, daß in Zukunft noch öfter eine einseitige Farbenblindheit beobachtet wird, ebenso wie es auch einseitige Farbenschwäche gibt.

Das Farbensehen der Rotgrünblinden.

a) im Spektrum.

Um das Farbensehen der Protanopen und Deuteranopen zu verstehen, geht man auch hier wieder zweckmäßig vom spektralen Bande aus.

Die Farbenempfindungen, welche die spektralen Lichter hervorrufen, sind bei beiden sehr ähnlich. Freilich läßt sich schwer

vorstellen, welche Farben der Farbenblinde überhaupt sieht, da ein Vergleich mit einem normalen Sehorgan schwer möglich ist, und man sich nicht ohne weiteres als Normaler in die Empfindung des Rotgrünblinden hineinversetzen kann.

Jedenfalls sehen Protanop und Deuteranop am Spektrum an stelle der etwa 160Farbentöne, welche der Normale unterscheidet, nur noch zwei, nämlich eine „warme" Farbe, wahrscheinlich Gelb entsprechend der langwelligen Hälfte des Spektrums, welche der Normale Rot bis Grün sieht, und eine „kalte", wahrscheinlich blaue, entsprechend der kurzwelligen Spektralhälfte, dort, wo der Normale grünblau bis violett sieht. Beide Farbentöne nehmen nach der Mitte des Spektrums allmählich an Sättigung ab, d. h. sie werden immer weißlicher, um zwischen 490 und 499 $\mu\mu$ Wellenlänge, an einer Stelle, welche der Normale blaugrün sieht, in eine farblose, d. h. grauweiße Stelle überzugehen. Diese farblose Stelle wird als „**neutraler Punkt**" oder neutrale Stelle bezeichnet. Diese stellt also gleichsam die Umschlagstelle des warmen Farbentones in den kalten dar[1]. Während der Normale unter gewöhnlichen Verhältnissen niemals irgend eine Stelle des Spektrums farblos sieht, ist eine solche neutrale Stelle in jedem dichromatischen Farbensystem, mag es angeboren oder erworben sein, vorhanden (vergl. Fig. 2 u. 3 auf Tafel II).

Die Rotgrünblinden (Protanopen und Deuteranopen) sehen also ein homogenes Licht, welches dem Normalen blaugrün erscheint, farblos, ebenso auch ein bestimmtes Rot-Blau-Gemisch, welches ihnen dazu gleichfarbig erscheinen muß, da man (wie aus der Aichung hervorgeht) alle Empfindungen auch durch passende Mischung von Rot und Blau erzeugen kann. Das Rot-Blau-Gemisch sieht der Normale natürlich purpurfarben. Die Farbenblinden verwechseln also zwei Farbentöne, welche der Normale Blaugrün und Purpur sieht, mit Grau.

Wer sich an die Abnahme der Farbenempfindung nach der Peripherie des Normalen zu erinnert, weiß, daß auch dort in einem bestimmten Stadium (rotgrünblinde Zone) nur zwei Farbentöne: Gelb und Blau unterschieden wurden, während eine Stelle im Blaugrün ebenfalls ihren Farbenton bereits vollkommen verloren hatte und farblos — „neutral" geworden war.

Bei dem Normalen unterscheidet man bekanntlich an den beiden Spektralenden sogenannte „E n d s t r e c k e n" (S. 9), in deren Bereich sich die spektralen Lichter nicht mehr durch ihren Farbenton unterscheiden, sondern nur noch verschieden hell gesehen werden.

---

[1]) Auch für den Normalen hören an dieser Stelle im Spektrum die „warmen" Farben auf und die „kalten" beginnen (S. 3).

Bei den Protanopen und Deuteranopen sind ebenfalls Endstrecken nachweisbar, innerhalb deren sie das Spektrum in gleicher Farbe und Sättigung sehen, nur sind sie erheblich ausgedehnter, wie beim Normalen.

Endstrecken des Spektrums[1]):

	am langwelligen (roten) Ende	am kurzwelligen (violetten) Ende
für den Normalen	bis 655 $\mu\mu$	von 430 $\mu\mu$ an
für Protanopen u. Deuteranopen	bis etwa 540 $\mu\mu$	von etwa 465 $\mu\mu$ an.

Daraus ergibt sich die praktisch so wichtige Tatsache, daß die Protanopen und Deuteranopen alle Spektrallichter, welche der Normale als Rot, Orange, Gelb, Gelbgrün mit den vielen Zwischennuancen unterscheidet, in nur einem einzigen Farbenton und in gleicher Sättigung sehen. Sie können sie lediglich nach der Helligkeit unterscheiden und müssen sie rettungslos verwechseln, wenn sie über den Grad ihrer Intensität nicht orientiert sind.

Zeigt man umgekehrt dem Farbenblinden dasselbe Spektrallicht, z. B. rot (670 $\mu\mu$) nebeneinander in größerer und geringerer Lichtstärke, so sieht er — nach der Empfindung des Normalen gemessen — hellgelb und dunkelgelb nebeneinander. Häufig gibt er aber zwei verschiedene Farben an, etwa gelb und rot usw., denn er weiß aus Erfahrung, daß die Mehrzahl der Menschen mit verschiedenen Farbennamen belegt, was für ihn eben nur verschieden hell, aber gleichfarbig aussieht. Für derartige Verwechselungen kommen natürlich nur die Lichter von Rot bis Gelbgrün in Betracht (innerhalb der „Endstrecke“ des Spektrums).

Den zwischen 540 $\mu\mu$ (grün) und 465 $\mu\mu$ (blau) liegenden Teil des Spektrums sehen die Farbenblinden in den Sättigungsabstufungen des Gelb und Blau bis zum reinen Grau, das etwa in der Mitte liegt (eben die neutrale Stelle).

b) *im praktischen Leben.*

Wenn auch die Gegenstände in unserer Umgebung keine „reinen“ Lichtstrahlen wie die Spektrallichter aussenden, sondern

---

[1]) Die Länge der Endstrecken kann man direkt aus den Aichwerten ablesen. Solange die Werte des einen Aichlichtes gleich 0 sind, also nur *ein* Aichwert vorhanden ist, solange ist eben noch keine Mischung der beiden Aichlichter (rot und blau) notwendig geworden. Mit anderen Worten, die entsprechende Strecke des Spektrums erscheint dem Farbenblinden in gleichem Ton und gleicher Sättigung und die verschiedene Höhe der Werte drückt nur aus, daß die Helligkeit des gesehenen einen Farbentons eine wechselnde ist. Dabei wird diejenige Stelle im Spektrum am hellsten gesehen, wo der Aichwert am höchsten ist.

Lichtgemische, so verhalten sich die Farbenblinden doch im allgemeinen im Leben ebenso wie gegenüber dem Spektrum, sodaß man die Fehler, welche sie machen können, bei einiger Überlegung aus dem vorher Gesagten entnehmen kann.

Diese Fehler müssen gegenüber dem Normalen in einer ganzen Anzahl von Farbenverwechselungen bestehen entsprechend dem ungemein vereinfachten Farbensehen.

Im täglichen Leben spielen vor allem rote, gelbe und grüne Farbentöne eine Rolle. Der Farbenblinde kann verwechseln (nach Nagel)

1. ein helles Rot: mit einem dunkeln Gelb, oder Braun, Olivbraun, Grüngelb, Olivgrün, dunkelm Orange,
2. Orange: mit Feuerrot, Ziegelrot, Gelbgrün, Gelb,
3. Gelb: mit Hellrot, hellem Orange, Gelbgrün,
4. Gelbgrün: mit Hellrot, Ziegelrot, Orange, Gelb,
5. Grün: mit Graugelb, Graubräunlich, Graurosa,
6. Bläulichgrün: mit Grau bezw. Weiß und Rosa,
7. Rosa, Karminrot: mit Grau, Bläulichgrün, Braungrün usw.

Weniger wichtig sind die Farben in der kalten Hälfte des Spektrums, hier können folgende Verwechselungen vorkommen:

8. Grünlichblau: mit weißlichem Blau (Wasserblau, Blaßviolett,)
9. Blau und Violett sehen gleich aus,
10. Rotviolett (malvenfarben, Lösung von übermangansaurem Kali): mit Blaßviolett, Blaßblau.

Sieht der Farbenblinde einen Gegenstand nach unseren Begriffen „farblos", grau, und hegt er aus irgend einem Grunde den Gedanken, daß es sich um eine Farbe handeln könne, so ist er meist geneigt, ihn Grün zu nennen (Bläulichgrün = grau!) Bei Grün sind die Farbenblinden stets besonders unsicher.

Bei einem Stück grauen Papier wird er natürlich für gewöhnlich nicht an Grün denken. Handelt es sich etwa um Blumen, wird er statt grün vielmehr rosa annehmen, denn das letztere ist viel wahrscheinlicher, und Rosa erscheint ihm ja auch annähernd farblos. Sitzen die Blumen noch dazu innerhalb größerer grüner Flächen, so kann noch eine gewisse Kontrastwirkung hinzukommen und die Erkennung erleichtern.

Eine Farbe, die dem Farbenblinden warm erscheint, (d. h. also gelblich) wird leicht für Rot erklärt, z. B. Olivbraun usw., besonders dann, wenn der Farbenblinde z. B. einer Farbenprüfung unterzogen wird.

Im Gegensatz zu dem eben Gesagten findet man nun recht häufig, daß zweifellos Farbenblinde in Wirklichkeit garnicht soviel Verwechselungen begehen und im Grunde genommen im praktischen Leben verhältnismäßig wenig Fehler machen. Ja sie selbst geben zwar eine „Unsicherheit" im Erkennen von manchen Farben zu, sagen etwa, es werde ihnen schwer, Blau und Violett zu unterscheiden oder blasse Farben zu erkennen. Daß sie aber ein leuchtendes Rot mit Gelb oder Gelbgrün verwechseln können, diese Möglichkeit lehnen sie nicht selten mit Entschiedenheit ab. Besonders Eisenbahnbeamte betonen trotz ihrer Farbenblindheit gern, daß sie Rot und Grün durchaus sicher unterscheiden können und bringen wohl auch zum Beweise Proben ihrer roten und grünen Signalgläser mit (sie haben übrigens von ihrem Standpunkte aus nicht Unrecht, denn die rote und grüne Signalfarbe sieht für sie durchaus nicht gleichfarbig aus, s. S. 62).

Wie kommt es nun, daß die Farbenblinden trotz ihres Fehlers so oft farbige Gegenstände richtig bezeichnen und in der Farbe unterscheiden können?

Es gibt hierfür mehrere Gründe. Erstens haben sie gelernt, daß bestimmte Gegenstände, etwa Gras, grün ist, und sie nennen diejenige Farbenempfindung, die sie beim Betrachten einer saftigen Rasenfläche haben, grün. Daß sich ihre Empfindung nicht mit derjenigen eines Normalen deckt, kann ihnen ohne weiteres nicht zum Bewußtsein kommen, da ihnen jeder Vergleich fehlt. Sie verbinden also mit ihren abweichenden Empfindungen gleichsam die Bezeichnungen des Normalen. Bei bekannten Gegenständen, die sie aus der Form usw. kennen, werden sie daher nach ihrer Erfahrung urteilen.

Ferner haben sie gelernt, die kleinen Helligkeits- und Sättigungsunterschiede, welche sie beim Betrachten der Gegenstände sehen, in viel höherem Grade auszunutzen, als es der Normale zu tun pflegt, dem sein Farbenunterscheidungsvermögen zu Gebote steht. Sie ersetzen mit diesen Hülfen gewissermaßen ihren Mangel, die Farbentöne zu unterscheiden und besitzen darin eine große Übung.

Drittens aber hat sich in neuester Zeit herausgestellt, daß bei vielen dieser Dichromaten der Farbensinn nicht mehr dichromatisch ist, wenn Gegenstände unter großem Gesichtswinkel betrachtet werden, z. B. bei Betrachtung von Wandflächen. Anscheinend der größte Teil der Protanopen und Deuteranopen haben hier eine Andeutung von wirklicher Rot-

empfindung, die ihnen beim Sehen kleiner Objekte vollkommen fehlt (N a g e l)[1].

Die Dichromaten ähneln hierin den sogen. anomalen Trichromaten (s. später). Ob sie ihnen in der Empfindung ganz gleichkommen und inwieweit hier nur graduelle Unterschiede bestehen, läßt sich heute mit Sicherheit noch nicht sagen, wenn das letztere auch wahrscheinlich ist.

D o n d e r s sagt bereits 1877: gesättigte Farben, gut erleuchtet und unter ziemlich großem Gesichtswinkel gesehen, werden auch von den meisten derer, die für farbenblind gelten, unterschieden. N a g e l (25) gibt in seiner Selbstbeobachtung an, daß er bei genügend großer Fläche Rot direkt sehen und auch als Nachbild von einer grünen Fläche erhalten konnte. Dagegen sah er auch an großen Flächen Grün niemals als eigentliche Farbe. — Diese seine rudimentäre Rotempfindung ließ sich übrigens auch auf großem Felde vorübergehend durch „Umstimmung“ aufheben, nämlich nach einstündigem Tragen einer orangeroten Kapsel vor dem Auge.

Schließlich sei noch ein Hilfsmittel erwähnt, abends ein rotes Licht von anderen zu unterscheiden (besonders rote Laternen): Ein rotes Licht erscheint im allgemeinen schärfer begrenzt als ein grünes, es ist von einem geringeren Lichthof umgeben. Der Grund ist in der geringeren Wirkung roter Lichter im Dämmerungssehen zu suchen (N a g e l).

U n t e r s c h i e d z w i s c h e n P r o t a n o p e n u n d D e u t e r a n o p e n.

Die Trennung der beiden Formen der Rotgrünblindheit ist für den Praktiker nicht erforderlich, wenn es sich nur darum handelt, gegenüber den Behörden die Farbenuntüchtigkeit einer Person festzustellen.

Für die Diagnostik der erworbenen Farbenblindheit ist jedoch die sichere Unterscheidung von Protanopen und Deuteranopen unbedingt notwendig. Sie ist sehr leicht trotz der großen Ähnlichkeit, welche zwischen dem Farbensehen beider besteht. Die wichtigsten Unterschiede sind folgende (Fig. 2 u. 3 auf Tafel II):

1. Der Protanop sieht im Spektrum die hellste Stelle bei etwa 570 $\mu\mu$ (dem Normalen Grüngelb), der Deuteranop dagegen etwa bei 600 $\mu\mu$ (für den Normalen Orange), also etwa dort, wo auch dem Normalen das Spektrum am hellsten erscheint.

2. Für den Protanopen ist das langwellige (dem Normalen rote) Ende des Spektrums v e r k ü r z t. Das rührt daher, weil für sein Sehorgan überhaupt rote Lichter einen sehr geringen „Reizwert“ haben, d. h. ihm sehr dunkel erscheinen (dabei natürlich

[1]) Daraus geht noch nicht etwa hervor, daß nur ein scharf umgrenzter Bezirk im Zentrum des Gesichtsfeldes farbenblind ist, die exzentrischen Teile aber nicht mehr, daß etwa ein zentrales umschriebenes Farbenskotom vorliegt, wie es erworben vorkommt, und das man mit dem Perimeter nachweisen kann.

nicht rot, sondern in einem Farbenton, welcher dem Gelb des Normalen entsprechen würde s. o.). Infolgedessen sieht der Protanop dunkelrote Gegenstände überhaupt so gut wie schwarz[1]).

Die genannten Unterschiede (vgl. Tafel 2) zwischen Protanopen und Deuteranopen werden differentialdiagnostisch verwertet in der **Scheingleichung zwischen roten und gelben Lichtern,** die auch für die erworbenen Farbensinnstörungen von Bedeutung ist.

Zeigt man dem Farbenblinden zwei Lichter (Spektrallichter, farbige Gläser, Papiere) nebeneinander, welche der Normale rot und gelb sieht, so müssen sie sowohl dem Deuteranopen wie dem Protanopen völlig gleichfarbig (und zwar gelb), nur verschieden hell erscheinen. Der Protanop sieht dabei das rote (für ihn gelbe) Licht nahezu 5mal so dunkel wie der Deuteranop. Sind für letzteren die beiden Vergleichslichter völlig gleichfarbig und gleich hell, so muß nunmehr das für uns rote Licht 5mal so große Lichtstärke erhalten, damit der Protanop beide gleich sieht.

Dieses Helligkeitsverhältnis ist scharf und konstant und es gibt dabei keine Übergänge[2]), die Einstellungen aller Protanopen wie die der Deuteranopen stimmen untereinander vollkommen überein.

Die Diagnose der Protanopie und Deuteranopie wird gemeinsam mit derjenigen des anomalen Trichromaten besprochen werden.

Das periphere Sehen der Protanopen und Deuteranopen.

Auch bei den Protanopen und Deuteranopen nimmt das Farbensehen nach der Peripherie des Gesichtsfeldes hin ab, gleich dem des Normalen. In einer gewissen Zone ist daher bei allen drei, dem Normalen, Protanopen und Deuteranopen eine (periphere) Rotgrünblindheit vorhanden, die schließlich in den äußersten Teilen des Gesichtsfeldes in völligen Verlust des Farbensehens übergeht.

Wenn also auch hier bei allen drei Systemen zwar das Spektrum farblos aussieht, so unterscheiden sie sich doch noch durch die Helligkeitsverteilung

[1]) Sowohl die Differenz in der Lage der hellsten Stelle im Spektrum, wie die geringen Reizwerte langwelliger (roter) Lichter für den Protanopen lassen sich direkt aus den Aichwerten S. 38 ablesen: einmal aus der Lage der höchsten Werte im Spektrum und zweitens aus den niedrigen Aichwerten der Protanopen für die langwelligen Lichter.

[2]) Ein vereinzelt gebliebener Fall (Guttmann) zeigt allerdings neben anderen Komplikationen ein solches Verhalten, daß er etwa die Mitte zwischen Protanopie und Deuteranopie einnehmen würde. Er ähnelt hierin der erworbenen Rotgrünblindheit. Neuerdings sind bei Farbenschwachen ähnliche Beobachtungen gemacht (Köllner, 29).

scheidung machen, zu denen der Normale nicht auch im Stande wäre. Da die Dichromaten somit ein reines vereinfachtes Farbensystem besitzen, werden sie als Reduktionsformen des normalen trichromatischen Farbensystems bezeichnet.

Wir wollen noch einmal die Aichwertkurven der drei dichromatischen Systeme betrachten, oder wenigstens die der Protanopie und Deuteranopie, welche durch mehrfache Prüfungen festgelegt sind. Wie S. 30 mitgeteilt, wiederholen sich die Aichwertkurven so, daß im ganzen nur drei vorhanden sind. Von diesen drei setzen immer zwei ein dichromatisches System zusammen.

Da nun andererseits die dichromatischen Systeme Reduktionsformen des normalen Farbensinnes darstellen, so könnte man in den drei verschiedenen Kurven die drei Aichwertkurven des normalen trichromatischen Farbensystems erblicken (v. Kries). Wie bereits erwähnt, ist die direkte Aichung des normalen Farbensystems mit einem Gemisch von drei Lichtern technisch sehr schwierig.

Diese drei Aichwertkurven des Normalen würden natürlich ebenfalls lediglich die graphische Darstellung für die Mengenanteile bilden, welche zu der Dreilichtermischung notwendig sind.

Uebergangsformen zwischen dichromatischem und monochromatischem System. (Pseudomonochromasie.)

Einige seltene Fälle in der Literatur zeigen das eigentümliche Verhalten, daß die betreffenden Personen auf den ersten Blick als total farbenblind gelten können. Sie sehen alles grau bezw. farblos und machen die entsprechenden Verwechselungen. Bei genauerer Untersuchung findet man jedoch noch eine Andeutung von Farbenempfindung. So sehen sie ein Spektrum nicht als einfaches vollkommen graues Band, sondern sehen einzelne Teile noch schwach farbig, z. B. können sie die beiden Enden des Spektrums noch ganz schwach als bläulich und gelblich unterscheiden, besonders wenn man dem Beobachter die beiden aus den Enden isolierten Lichter (für den Normalen Rot und Violett) ineinanderstoßenden Felder eines Spektralapparates zeigt.

Derartige Individuen sind natürlich sehr leicht als völlig farbenuntüchtig zu entlarven. Da sie außerdem äußerst selten beobachtet sind, haben sie vorwiegend wissenschaftliches Interesse.

Fälle sind beschrieben von König, Silex (6). Vielleicht gehört auch ein Fall von einseitiger totaler Farbenblindheit Beckers hierher.

Die totale Farbenblindheit, welcher sich diese Formen von Pseudomonochromasie nähern, scheint übrigens verschieden zu sein von der typischen, S. 32 beschriebenen. Denn erstens liegt das Helligkeitsmaximum nicht wie dort im Grün des Spektrums, sondern ähnlich wie beim Normalen im Gelb, ferner scheinen die charakteristischen klinischen Begleitsymptome zu fehlen. Es gibt eben überhaupt noch andere Formen von angeborener Farbenblindheit, als die beschriebenen typischen, und wer weiß, ob nicht die Zukunft uns in dieser Beziehung noch manche Überraschung bringen wird.

Etwa in die Mitte zwischen der Pseudomonochromasie und den vorher beschriebenen dichromatischen Farbensystemen sind vielleicht einige Fälle zu stellen, bei denen zwar ein dichromatisches Sehen (Rotgrünblindheit bezw. Gelbblaublindheit) besteht, aber — neben weiteren Abweichungen — die beiden gesehenen Farbentöne (d. h. also Gelb und Blau bezw. Rot und Grün) sehr ungesättigt, weißlich erscheinen. Man kann sich auch ausdrücken: es besteht gleichzeitig auch eine Schwäche des Gelbblausinnes bezw. des Rotgrünsinnes. Hierzu gehören wohl die Fälle von Guttmann (Rotgrünblindheit) und Vintschgau (Gelbblaublindheit).

Die anomal-trichromatischen Systeme.

Farbenschwäche.

Die hierher gehörigen, recht zahlreichen Formen der Farbensinnstörung repräsentieren einen besser entwickelten Farbensinn als die bisher besprochenen dichromatischen Farbensysteme und nähern sich dem normalen Farbensinn bereits in vieler Beziehung.

Wie bei dem Normalen genügen nicht mehr zwei Lichter, um gemischt alle möglichen Farbenempfindungen zu erzeugen, es sind vielmehr mindestens drei Lichter hierzu notwendig. Sie sind somit, wie schon ihr Name ausdrückt, Trichromaten, haben aber gegenüber den Normalen einen herabgesetzten Farbensinn.

Die anomalen Trichromaten bilden eine vollkommene Stufenleiter verschiedengradiger Störungen, welche vom normalen Farbensinn bis zu der Farbenblindheit bezw. den dichromatischen Systemen überleiten. Der Übergang vollzieht sich so allmählich, daß es schwer ist eine scharfe Grenze zu ziehen zwischen normalem Farbensinn und leichten Graden der Anomalie, andererseits zwischen den hochgradigen Formen der Anomalie und der Farbenblindheit.

Nomenklatur. Da die Untersuchungen über die „Anomalen" noch nicht abgeschlossen sind, und mit der Möglichkeit weiterer Ergebnisse gerechnet werden muß besonders auf dem Grenzgebiete nach dem normalen Farbensinn hin, ist es notwendig zu erwähnen, was zur Zeit unter den Namen „Anomale Trichromaten" und „Farbenschwache" verstanden wird. Beides sind zunächst 2 verschiedene Begriffe. Mit dem von König geprägten Ausdruck „anomale Trichromaten" bezeichnet man diejenigen Personen, welche bei der Untersuchung mit spektralen Mischungsgleichungen Abweichungen gegenüber dem Normalen aufweisen. Ja man pflegt den Begriff heute aus praktischen Gründen noch enger zu fassen und diejenigen Trichromaten Anomale zu nennen, welche sich gegenüber der **Rayleigh**gleichung, welche bei der Untersuchung eine große Rolle spielt (s. u.), anders verhalten wie die Normalen.

Demgegenüber bezeichnet man als „Farbenschwäche“ den Gesamtkomplex einer Reihe von Symptomen (s. u.), die sich auf Unsicherheit im Erkennen von Farben beziehen, z. B. beim Prüfen mit farbigen Objekten wie Nagels oder Stillings Tafeln usw., ohne dabei die Einstellung der Rayleighgleichung zu berücksichtigen. Diese Symptome sind von Nagel als sekundäre Eigenschaften des anomalen Trichromaten bezeichnet worden.

In der weitaus größten Mehrzahl der Fälle decken sich Farbenschwäche und Anomalie, d. h. es ist eine Abweichung von der Rayleighgleichung verbunden mit dem Symptomenkomplex des Farbenschwachen. Bei einem allerdings kleinen Teil der Beobachter, die schon nahe an die Normalen grenzen, findet man bei der Untersuchung jedoch scheinbar Widersprüche, d. h. Symptome von Farbenschwäche bei normaler Rayleighgleichungs-Einstellung und umgekehrt abweichende Gleichung ohne nachweisbare Farbenschwäche (Rosmanit, Nagel, Köllner).

Es ist vollkommen möglich, daß dieser Widerspruch zwischen Anomalie und Farbenschwäche eben nur ein scheinbarer ist, und daß in Wirklichkeit alle Farbenschwachen doch anomale Trichromaten sind, auch an der Rayleighgleichung. Die neueren Untersuchungen deuten hierauf hin (Köllner 29). Umgekehrt können auch sämtliche anomalen Trichromaten in Wirklichkeit doch farbenschwach sein, nur sind die Symptome so gering, daß sie zur Zeit nicht nachweisbar sind (vergl. Guttmann).

Bis diese Frage endgültig geklärt ist, wird man gut tun, die beiden Ausdrücke noch getrennt zu verwenden, in der Praxis aber beide Abweichungen: anomale Trichromasie und Farbenschwäche zu der Klasse der Farbenuntüchtigen oder wenigstens zweifelhaften zu rechnen.

Vorkommen. Alle anomalen Personen haben eine große praktische Bedeutung, denn sie sind ebenso wie die Farbenblinden als farbenuntüchtig zu bezeichnen gegenüber den „farbentüchtigen“ Normalen. Sie sind mindestens ebenso häufig, wie die Rotgrünblinden (also etwa 3—4% aller Männer), so daß auf Farbenuntüchtigkeit (Farbenblindheit und -Schwäche) im ganzen etwa 8% der männlichen Bevölkerung zu rechnen sind. Bei Frauen ist die Farbenschwäche ebenso wie die Farbenblindheit außerordentlich selten. Bezüglich Beteiligung der Rassen und der Vererbung gilt das bei der Farbenblindheit gesagte (S. 41).

Auch die Farbenschwäche tritt im allgemeinen doppelseitig auf, wie die Farbenblindheit, doch habe ich die leichtesten Grade auch einseitig gesehen. Möglicherweise werden hier noch weitere Unterschiede zwischen beiden Augen aufgefunden.

Das Verhalten gegenüber der Rayleighgleichung.

Bereits früher ist ausführlich darauf hingewiesen worden, daß der Normale von einem Gemisch aus Spektralrot und Gelblichgrün die gleiche Farbenempfindung erhält, wie von einem

homogenen Gelb. Dabei zeigt sich, daß das Mischungsverhältnis nur innerhalb geringer individueller Grenzen schwankt. Es ist dies die sogenannte Rayleighgleichung (S. 15).

Die anomalen Trichromaten weichen durchgängig in ihrem Verhalten gegenüber der Rayleighgleichung vom Normalen ab, denn das ist, wie eben erwähnt, ihr Charakteristikum.

Diese Abweichung vom normalen Beobachter ist jedoch nicht einheitlich, da es erstens zwei verschiedene Formen (s. u.) und zweitens ganz verschiedene Grade der Anomalie gibt. Ein Eingehen auf das Verhalten der Anomalen gegenüber der wichtigen Gleichung ist schon deswegen geboten, weil vorläufig die Rayleighgleichung das wichtigste Entscheidungsmittel darüber darstellt, ob ein Beobachter normalen Farbensinn hat, oder ob er anomaler Trichromat und event. farbenuntüchtig ist.

a) Wird die Rayleighgleichung des Normalen hergestellt (vergl. hierüber S. 15) unter Berücksichtigung der individuellen Verschiedenheiten und läßt man dann von einem anomalen Trichromaten diese Normalgleichung betrachten und beurteilen, so wird man in dem größten Teil der Fälle die Antwort erhalten, daß die beiden Felder nicht farbengleich sind, sondern daß die Feldhälfte mit dem Rotgrüngemisch entweder zu rötlich oder zu grünlich (blaß) gegenüber dem Gelb aussieht: kurz, die Normalen-Gleichung wird abgelehnt.

Vielmehr muß, damit die beiden Felder wieder vollkommen helligkeits- und farbengleich aussehen, dem Rotgrüngemisch entweder mehr Rot oder mehr Grün hinzugefügt werden — das Mischungsverhältnis Rot-Grün muß geändert werden.

Die Anomalen zerfallen demnach in zwei Gruppen, von denen die eine eine gewisse Unterempfindlichkeit für Rot besitzt: diejenigen, welchen bei der Rayleighgleichung mehr Rot zum Gemisch hinzugefügt werden muß. Sie zeigen dadurch eine gewisse Ähnlichkeit mit der einen Gruppe der Dichromaten, nämlich den Protanopen. Auch diese besaßen je eine geringe Empfindlichkeit, für Lichter, die dem Normalen Rot erschienen; sie äußerte sich in der besprochenen Verkürzung am roten Ende des Spektrums. Wegen dieser Ähnlichkeit mit den Protanopen hat man die entsprechenden anomalen Trichromaten als Protanomale (schlechter Rotanomale) bezeichnet.

Die andere Gruppe der Anomalen zeigt im Gegensatz dazu bei der Rayleigh-Gleichung eine gewisse Unterempfindlichkeit für Grün. In verschiedener Beziehung bestehen überdies Ähnlichkeiten mit einer anderen Gruppe der Dichromaten, nämlich den Deuteranopen. Deswegen sind sie als Deuteranomale (schlechter Grünanomale) bezeichnet worden.

Handelt es sich um Protanomale, ist es also notwendig, mehr Rot zu der Mischung hinzuzufügen, so wird auch damit gleichzeitig das Mischfeld dunkler wie vorher; daher muß die Helligkeit der beiden Felder reguliert werden. In welchem Grade diese Veränderung notwendig ist, hängt z. T. von der Art der Lichtquelle ab, welche zur Erleuchtung des Spektralapparates dient, z. T. von dem Grade der Störung. Ebenso wird bei den Deuteranomalen durch vermehrte Grünzumischung das Mischfeld heller, daher wird auch das gelbe Feld gewöhnlich heller verlangt.

Wenn der Anomale diese Änderung selbst vornimmt, so verhält er sich dabei nicht wie ein normaler Beobachter. Er fällt meist auf durch seine Unsicherheit und seine Schwankungen in der Einstellung. Beständig korrigiert er sich wieder, findet jetzt beide Felder gleich und im nächsten Augenblick, nachdem er zwischendurch vom Apparat fortgeblickt hat, sieht er wieder eine Farbendifferenz.

Läßt man seine Einstellungen mehrmals wiederholen, so ist nicht immer die Konstanz im Rotgrünmischungsverhältnis und Helligkeit der Feldhälften vorhanden, welche den Normalen auszeichnet. Die Abweichungen sind sogar oft recht beträchtlich, weil sich der Anomale leicht durch Helligkeitsdifferenzen täuschen läßt. Das kann sogar soweit gehen, daß ein Anomaler, welcher der Normalgleichung zuerst mehr Rot hinzugefügt hat, (also Protanomaler) auch einmal mehr Grün hinzufügt (d. h. also eine Einstellung, ähnlich dem Deuteranomalen wählte), falls nämlich das gelbe Vergleichslicht sehr hell gemacht wurde (Koffka 22).

Andere Anomale wiederum zeichnen sich, wenn man sie ihre Einstellung wiederholen läßt, durch eine gewisse Konstanz ihrer Einstellung aus.

Dem Normalen erscheinen die abweichenden Einstellungen der Anomalen natürlich stets deutlich farbig verschieden, denn das Rotgrüngemisch sieht ihm zu grün aus, wenn der Deuteranomale seine Einstellung gewählt hat; und er findet es zu rötlich, wenn vorher der Protanomale am Apparat gewesen ist.

Die Größe der Abweichung, innerhalb welcher Anomale die Rayleighgleichung einstellen, schwankt natürlich. Als Anhaltspunkt können am besten Befunde am Nagelschen Anomaloskop dienen, da dieser Apparat für praktische Untersuchungen am verbreitetsten ist. Wenn für den Normalen die Einstellung der Schraube, welche das Rotgrüngemisch reguliert, innerhalb etwa 56 bis 64 liegt, so geht die Einstellung der Protanomalen über 64 hinaus auf etwa 68—70 und darüber, die des Deuteranomalen pflegt sich unge-

fähr um 40—45 herum zu bewegen. Doch gibt es möglicherweise Übergänge, sodaß die Grenze zwischen Normal und Anomal sich überhaupt nicht zahlenmäßig so einfach festlegen läßt. Von großem Einfluß auf die Einstellung ist stets die Helligkeit des gelben Vergleichsfeldes.

Das bisher beschriebene Verhalten gegenüber der Rayleighgleichung findet sich bei fast allen leichten und mittleren Graden der Anomalie.

b) Es kann nun aber — gar nicht selten — vorkommen, daß die Gleichung des Normalen auch von dem Farbenschwachen angenommen wird, wenn auch zögernd und vielleicht nach einigen unwesentlichen Korrektionen im Rotgrüngemisch und an der Helligkeit der Felder, die jedoch durchaus im Bereiche der individuellen Schwankungen des Normalen liegen würden. Ebenso wenn der Farbenschwache aufgefordert wird, sich selbst die Gleichung frei einzustellen, kann es vorkommen, daß er die Einstellung des Normalen annähernd trifft[1]).

Derartige Fälle sind äußerst wichtig. Denn es ist begreiflich, daß sie bei flüchtiger Untersuchung nur mit der Rayleighgleichung als farbentüchtig gelten und durchschlüpfen können. Und doch handelt es sich hierbei oft gerade um die hochgradigen Formen der Anomalie (Extrem-anomale, wie sie früher von Nagel genannt wurden), diejenigen, welche tatsächlich sich von den Farbenblinden nicht mehr erheblich unterscheiden.

Die Farbensinnanomalie zeigt sich auch sofort, wenn man sich bei dieser Einstellung nicht beruhigt, sondern eine weitere Probe vornimmt: man stellt nämlich anstelle des Rotgrüngemisches reines spektrales Grün oder ein Rotgrüngemisch, in welchem das Grün sehr stark überwiegt, ein und schafft so eine Scheingleichung zwischen den beiden homogenen Lichtern Grün und Gelb. Fordert man dann den Anomalen oder Verdächtigen auf, die Helligkeit der Felder so lange zu verändern, bis er eine völlige „Gleichung“ zwischen dem Grün und Gelb bekommt, so gelingt das in der Regel sehr bald.

Wird erklärt, daß eine Gleichung so nicht möglich ist, so erhält man sie zum mindesten, wenn man dem Rotgrüngemisch erheblich Grün zumischt (etwa am Anomaloskop auf 20—30 der Stellschraubeneinteilung).

Die ganz schweren Fälle, welche der Farbenblindheit schon sehr nahe kommen, nehmen zuweilen auch vorübergehend oder

[1]) besonders dann, wenn die Helligkeit des Gelb ihm fest eingesteilt wird, und er aufgefordert wird, nur das Rotgrüngemisch zu verändern.

nach längerem Hinsehen durch eine Gleichung zwischen spektralem Rot und Gelb an.

Ferner gibt es auch eine Reihe Leicht-Anomaler, welche sich dasselbe Rotgrüngemisch, wie der Normale einstellen, aber ebensogut auch eine Gleichung bekommen, wenn etwa 10 Teilstriche mehr Grün oder Rot beigefügt werden und dem Beobachter gestattet wird, die Helligkeit der Felder zu regulieren. Die einen erhalten auf diese Weise sofort eine Gleichung, die anderen erst, wenn sie einige Sekunden hineinblicken. Man kann hier alle Übergänge bis zum normalen Verhalten verfolgen.

Ja es gibt sogar Anomale, welche schließlich zwischen reinem Rot und Gelb eine Gleichung annehmen, aber nach der anderen Seite eine vermehrte Grünzumischung zur Normalengleichung bestimmt ablehnen. Damit unterscheiden sie sich streng vom Farbenblinden. Übrigens verhalten sich gegenüber den gebräuchlichen Untersuchungsmethoden gerade diese Formen annähernd wie die Normalen.

Das Farbensehen der Farbenschwachen.

Wenn die Farbenschwachen ein Spektrum unter den gleichen Beobachtungsbedingungen betrachten, wie die Rotgrünblinden, so sehen sie nicht nur zwei Farbentöne, Gelb und Blau, sondern sie unterscheiden mehrere, vor allen Dingen zwischen Rot und Hellgrün. Natürlich erreichen sie die Leistungsfähigkeit des Normalen nicht. Im einzelnen hängt diese sehr von der Größe und Helligkeit des Spektrums usw., kurz von den Beobachtungsbedingungen ab.

Höhergradige Anomale leugnen z. B. bei Betrachtung eines Spektrums überhaupt, eine Grünempfindung zu haben, gleichwohl ruft bei ihnen noch Rot eine Kontrastempfindung Grün hervor. Bei den Dichromaten oder Farbenblinden, denen diese Extremanomalen schon nahekommen, fehlt eine derartige Kontrasterscheinung gänzlich. Überhaupt das Erkennen von Grün, wenn keine andere Farbe daneben gesehen wird, macht den Anomalen die größten Schwierigkeiten.

Green (20) läßt den Normalen 7 Farben im Spektrum sehen und unterscheidet nun zwischen den Dichromaten oder Farbenblinden und den Heptachromaten oder Normalen eine Anzahl Zwischenstufen als Trichromaten, Tetrachromaten usw. Green rechnet übrigens alle, welche mehr wie 3 Farben im Spektrum sehen, praktisch den Normalen, oder wie wir sagen würden Farbentüchtigen, zu.

Die Farbenschwachen sind durch eine Anzahl von Symptomen charakterisiert, durch welche sie sich vom Normalen unterscheiden. Diese Symptome sind nach Guttmann folgende:

a) Die Farbenschwachen haben eine herabgesetzte Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne.

Während z. B. im Spektrum der Normale zwei Lichter, deren Wellenlängen nur wenige $\mu\mu$ auseinanderliegen, schon deutlich unterscheidet, erkennt der Farbenschwache erst 2 Lichter als verschiedenfarbig, welche weiter auseinander liegen.

Besonders die Unterscheidung von Violett und Blau fällt (wie auch den Rotgrünblinden) den Farbenschwachen schwer. So hat der Arzt z. B. Schwierigkeiten bei der bekannten Methylviolettprobe auf freie Salzsäure im Magensaft. Die Blaufärbung der violetten Lösung durch den Säuregehalt wird von dem Farbenschwachen immer schlecht gesehen werden.

b) Der Farbenschwache braucht zur Erkennung der Farben eine längere Zeit als der Normale, zumal wenn er mehrere Farben nebeneinander sieht. Er ist kaum in der Lage, blitzschnell auftauchende farbige Lichter richtig zu sehen. Gerade dieser Moment spielt für die Praxis eine große Rolle, z. B. für das Eisenbahnpersonal auf den fahrenden Zügen, das ein Signal sofort erkennen und danach handeln muß.

G u t t m a n n, welcher selbst deuteranomal ist, berichtet über seine eigenen Beobachtungen bei der Einfahrt in einen Bahnhof oder auf nächtlichen Schiffsfahrten: „ich bin nicht imstande," sagte er, „mehrere Farben, die ich gleichzeitig sehe, sofort richtig zu erkennen. Ich muß mir erst über die eine klar werden, ehe ich meine Aufmerksamkeit auf die andere richten darf."

c) Der Farbenschwache muß ein Licht unter größerem Gesichtswinkel sehen wie der Normale, wenn er seine Farbe erkennen will.

Der Normale ist bekanntlich in der Lage, auch bei Lichtern, welche unter außerordentlich kleinem Gesichtswinkel erscheinen, die Farbe noch prompt zu erkennen. Es sei nur an die Sterne erinnert. Anders der Farbenschwache. „Der in Erdnähe besonders deutlich rot erscheinende „Mars" wurde von einem zum guten Durchschnitt zählenden Farbenschwachen für grün gehalten" (G u t t m a n n). Um auch hier auf die Gefahren der Anomalen für den Verkehr hinzuweisen, sei erwähnt, daß die Signallichter der Eisenbahn bereits in 1000 m Entfernung nur noch unter einem Winkel von 21" erscheinen (d. h. wie ein Punkt von 0,04 mm Durchmesser in 40 cm Leseentfernung gesehen) (N a g e l). So kleine Objekte machen natürlich den Farbenschwachen Schwierigkeiten.

Bekannt sind auch die Schwierigkeiten, welche das Auffinden der Tuberkelbazillen im gefärbten Präparat sowohl dem Farbenblinden wie Farbenschwachen macht.

d) Der Farbenschwache braucht eine größere Intensität und Sättigung der Farben zur Erkennung als der Normale.

Farbige Signalscheiben, Flaggen, Bojen können bei ungünstiger Beleuchtung, z. B. wenn sie im Schatten liegen, bei Nebel,

oder wenn die Farben verblaßt oder verstaubt sind, dem Farbenschwachen Schwierigkeiten bereiten, wenn der Normale noch gar nicht daran denkt, die Farben nicht zu erkennen. Bei Landkarten, die die Höhenunterschiede in Grün und Braun getönt zeigen (z. B. in Meyers Reisehandbüchern), werden die schwachgesättigten grünen Farbflächen von den Farbenschwachen nur zögernd erkannt, und wenn sie nicht besonders darauf achten, gern übersehen. Der farbenschwache Arzt übersieht die schwachen Tönungen leicht, welche der beginnende Ikterus, eine schwache entzündliche Injektion usw. hervorruft. Im mikroskopischen Präparat werden die schwach gefärbten roten Blutkörperchen oft nicht unterschieden (G u t t m a n n). Bei chemischen Arbeiten stößt das Titrieren auf Schwierigkeiten, wenn als Indikator eine Lösung gewählt wird, welche eine Farbenänderung der Flüssigkeit im Momente der Reaktionsänderung usw. hervorruft. Der Umschlag, z. B. eine schwache Rosafärbung der Flüssigkeit, wird von dem Farbenschwachen nur schwer erkannt. G u t t m a n n berichtet von sich, daß er trotz aller Bemühungen ohne den Rat eines farbentüchtigen Kollegen nie ein sicheres Ergebnis beim Titrieren finden konnte.

e) Ein sehr wichtiges Symptom ist bei den Farbenschwachen der g e s t e i g e r t e F a r b e n k o n t r a s t v o n R o t - G r ü n. Dadurch wird das Farbensehen der Farbenschwachen überhaupt nicht unwesentlich beeinflußt.

Neben roten Farben sehen z. B. graubraune oder gelbe grün aus, und umgekehrt neben grünen Farben rot. Bei der Untersuchung auf Farbenschwäche hat N a g e l in seinen Tafeln dieses charakteristische Verhalten der Farbenschwachen mit verwertet (Abteilung B der Tafeln).

Bei farbenschwachen Malern kann sich zuweilen diese gesteigerte Kontrastempfindung Rot-Grün in einer kontrastreichen Tongebung äußern. Bei den Signallichtern im Eisenbahn- und Schiffsverkehr können „weiße" Lichter neben roten z. B. grün erscheinen usw.

f) Sollen mehrere Farben nebeneinander erkannt werden, so ist das Urteil der Farbenschwachen in hohem Grade von Helligkeits- (und Sättigungs-) Unterschieden der farbigen Lichter abhängig.

Einem Farbenschwachen ist es schwer möglich, anzugeben, ob zwei verschieden helle Lichter gleiche Farbe haben oder nicht. Der Normale kann im allgemeinen diese Aufgabe ziemlich schnell und sicher lösen, weil er von dem Helligkeitsunterschied abstrahieren kann. D e m F a r b e n s c h w a c h e n w e r d e n a b e r

leicht durch Helligkeitsunterschiede mehrerer farbigen Lichter Farbenunterschiede vorgetäuscht.

Hierauf beruht zum großen Teil das eigentümliche zögernde Verhalten der meisten Farbenschwachen bei der Einstellung der Rayleighgleichung (s. S.54). Bei dem Bemühen, die Einstellung möglichst genau zu machen, unterliegen sie sehr leicht Urteilstäuschungen und stellen im Augenblick eine Gleichung im Farbenton ein, die sie im nächsten Moment doch wieder verwerfen, wenn die Helligkeit der beiden Felder nicht genau stimmt. Überhaupt wendet sich die Aufmerksamkeit bei der Gleichungseinstellung mehr auf das sekundäre Kriterium der Helligkeitsdifferenz, als auf den eigentlichen Unterschied im Farbenton der Felder (Guttmann). Hierin ähneln die Farbenschwachen den Farbenblinden.

g) Die Farbenschwachen ermüden leichter für farbige Reize als der Normale.

h) Läßt man die Anomalen zuerst auf farbige Flächen sehen, sodann auf einen weißen Schirm, so entstehen ebenso wie beim Normalen farbige Nachbilder. Aber diese Nachbilder lassen sich für den Anomalen durchaus nicht so vielfarbig erzeugen wie für den Normalen, vielmehr verhält sich ersterer vom Standpunkte der Nachbilder ähnlich wie ein Rotgrünblinder, d. h. ein Nachbild von rot und gelbgrün erscheint gleich und gelblich (Guttmann).

Der hier genannte Symptomenkomplex charakterisiert die Farbenschwachen und trennt sie von den Normalen. Es ist aber sofort ersichtlich, daß hier graduelle Unterschiede vorkommen können und müssen, daß die Symptome mehr oder weniger ausgesprochen sein können und daß dadurch vollkommene Übergänge zum normalen Farbensehen möglich sind.

In der Tat prüft man mit den gebräuchlichen Untersuchungsmethoden auf Farbenschwäche (Nagels Tafeln, Stillings Tafeln, Farbengleichungslampe), so findet man bei den Abweichungen und Fehlern, die gemacht werden, bald verschiedene Grade. Auch wenn die genannten Proben alle bestanden werden, also praktisch Farbentüchtigkeit vorliegt, ist damit noch nicht gesagt, daß sich die Farbenempfindung in Wirklichkeit nicht doch noch von der Mehrzahl unterscheidet. Ich habe bei genauerer Untersuchung derartiger Fälle mit Spektralfarben doch gefunden, daß Sättigungsunterschiede nicht erkannt werden, welche dem Normalen sonst durchaus auffallen.

Diese relativ „Farbenschwachen unter den Farbentüchtigen“ haben freilich kein praktisches Interesse, da sie eben Prüfungsmethoden bestehen und daher für gewöhnlich kaum erkannt werden. Sie können in der Tat auch unbedenklich als farbentüchtig gelten; eine Verschärfung der Prüfungsmethoden würde nur eine unnötige Härte darstellen und die Untersuchung erschweren. Sie sind aber ein interessanter Beleg dafür, wie allmählich sich die Übergänge der Symptome

der Farbenschwäche vom Normalen bis zum ausgesprochen Farbenschwachen bezw. -blinden vollziehen. Alle unsere Untersuchungsmethoden machen hierin eine mehr oder weniger willkürliche Grenze.

Das wechselnde Verhalten der Farbenschwachen erklärt sich wenigstens z. T. wohl daraus, daß sich zwei bezw. mehrere der Symptome nach verschiedenen Richtungen hin wechselseitig beeinflussen — d. h. verstärken oder abschwächen — können.

Im praktischen Leben kann die Leistungsfähigkeit der Farbenschwachen im Erkennen von Farben jedenfalls dem der Normalen recht nahe kommen, auch bei den höheren Graden der Anomalie. Notwendig ist nur, daß die Beobachtungsbedingungen günstig liegen, d. h., daß die farbigen Objekte eine gewisse Größe haben, gut beleuchtet und gesättigt sind, daß sie nicht zu schnell aufblitzen, nicht mehrere Lichter mit starkem Helligkeitskontrast nebeneinander auftauchen usw. Am meisten und frühesten besteht immer Unsicherheit bei grünen Farben.

Sind jedoch diese Bedingungen nicht vorhanden, treffen womöglich noch mehrere Faktoren zusammen (z. B. sehr kleine Lichtpunkte mit ungesättigten Farben usw.), so verhalten sich die Farbenschwachen ganz wie die Farbenblinden (Rotgrünblinden).

Hierbei ähnelt dann der Protanomale dem Protanopen; ihm erscheinen z. B. dunkelrote kleine Objekte fast schwarz, sie können also überhaupt verschwinden. Der Deuteranomale ähnelt mehr dem Deuteranopen.

Schon daran zeigt sich die Gefährlichkeit der Farbenschwachen für bestimmte praktische Berufszweige, ganz abgesehen davon, daß die gesteigerte Kontrastempfindung den Farbenschwachen manchen bösen Streich spielen kann. In jedem Falle muß aber der Farbenschwache seine Aufmerksamkeit stärker anspannen als der Normale, wenn er Farben erkennen will. Dadurch ist stets die Möglichkeit gegeben, daß er leichter erschlafft und in diesem Zustande der Abspannung dann Irrtümer begeht.

Die Beziehungen zwischen den Symptomen der Farbenschwäche und der Einstellung der Rayleighgleichung.

Sind nun in jedem Fall, bei dem eine Abweichung von der Rayleighgleichung des Normalen im obigen Sinne nachzuweisen ist, auch die Symptome der Farbenschwäche vorhanden und umgekehrt, finden sich bei sicher Farbenschwachen stets die Abweichung von der Rayleighgleichung?

Diese Frage ist besonders für die bahnärztliche Praxis von großer Wichtigkeit. Denn oftmals wird zunächst auf Farben-

schwäche mit Hülfe der Nagel schen Tafeln untersucht und später in höherer Instanz am Anomaloskop mit der Rayleighgleichung geprüft und nach dem Ausfall eine Entscheidung gefällt. Wenn sich bei beiden Untersuchungsverfahren Abweichungen ergeben, so können auch die beiden Gutachten verschieden ausfallen.

Es hat sich erst in neuerer Zeit herausgestellt daß in der Tat abweichende Rayleighgleichung ohne Symptome der Farbenschwäche vorkommt (Rosmanit, Köllner) und vielleicht auch Farbenschwäche bei vollkommen normaler Rayleighgleichung.

Bereits bei Untersuchung einer größeren Zahl von anomalen Trichromaten fällt auf, daß der Grad der Abweichung von der Rayleighgleichung des Normalen ganz erheblich sein kann, während man verhältnismäßig wenig Fehler findet, wenn mit anderen Methoden auf Farbenschwäche untersucht wird, z. B. mit Nagels Tafeln, Stillings Tafeln, Farbengleichungslampen nach Nagel und Köllner.

Trotzdem finden sich bei dem größten Teil der Anomalen, vor allem bei denjenigen mittleren und extremen Grades, beide Charakteristika nebeneinander. Anders liegen die Verhältnisse jedoch bei einzelnen Grenzfällen zwischen Farbentüchtigkeit und -untüchtigkeit. Hier kann man, wenn auch seltener, zwei Formen unterscheiden und finden, nämlich

a) anomale Rayleighgleichung[1]) ohne Zeichen von Farbenschwäche bei den gebräuchlichen Untersuchungsmethoden. Sie sollen praktisch ebenfalls zu den Farbenuntüchtigen gerechnet werden, aber bedingt, d. h. derart, daß sie bei Aufnahmeprüfungen bei der Eisenbahn und Marine zurückgewiesen werden, daß aber schon Angestellte im Dienst belassen werden (Rosmanit).

b) Farbenschwäche, falls sie bei normaler Rayleighgleichung beobachtet wird (anscheinend selten).

Derartige Farbenschwache müssten ebenfalls als farbenuntüchtig zurückgewiesen werden, trotz normaler Rayleighgleichung.

Für die Diagnose ergibt sich aus diesen Verhältnissen, daß eine endgültige obergutachtliche Entscheidung über die Farbenuntüchtigkeit eines Individuums in Zweifelfällen am besten erst getroffen wird, wenn Untersuchungen sowohl mit Rayleighgleichung, wie mit Tafeln oder Lampen stattgefunden haben.

---

[1]) Unter anomale Rayleighgleichung rechnet man am besten nicht mehr diejenigen mit, welche erst nach mehreren Sekunden langer Fixation angenommen werden (s. S. 56 oben).

Die Bedeutung der Farbenuntüchtigkeit für einzelne Berufszweige.

Es handelt sich hierbei nur um die Hauptformen der angeborenen Farbensinnstörungen, nämlich die Rotgrünblindheit mit ihren beiden Typen Protanopie und Deuteranopie und die Schar der anomalen Trichromaten.

Eisenbahndienst. Bei der Eisenbahn werden als Signallichter des Abends mit wenigen Ausnahmen rote, grüne und weiße Laternen benutzt, die von dem Personal sicher unterschieden werden müssen. Meist hat das außerdem oft unter ungünstigen Beleuchtungsverhältnissen, Nebel, auf große Entfernungen, in großer Schnelligkeit zu geschehen. Bei derartigen ungünstigen Beobachtungsbedingungen sind die Anomalen den Farbenblinden kaum noch überlegen. Es ist unrichtig, wenn man nun meint, daß die Farbenuntüchtigen oder wenigstens die Farbenblinden nicht in der Lage sind, das rote und grüne Licht zu unterscheiden. Hierzu sind sie, noch dazu auf ihnen bekannten Strecken, sehr wohl imstande. Denn das Rot sehen sie als gelbes Licht, das Grün der Eisenbahnlaternen entspricht ungefähr der Gegend des neutralen Punktes (S. 42) und wird daher etwa weiß gesehen. Ein derartiger Unterschied wie Weiß und Gelb ist für den Farbenblinden durchaus groß genug, um ihn erkennen zu können, vorausgesetzt, daß nicht die Beobachtungsbedingungen zu ungünstig sind. Schwer ist es dagegen, das rote und grüne Licht von der „weißen" Laterne zu unterscheiden. Denn dieses Weiß ist in Wirklichkeit gelblich und steht für den Farbenblinden im Aussehen etwa in der Mitte zwischen dem roten, für ihn gelben, und dem grünen, für ihn weißen Licht. Die Verhältnisse liegen noch ungünstiger, wenn die Laternen verschieden hell brennen oder in verschiedenen Entfernungen stehen, weil dadurch leicht Farbendifferenzen vorgetäuscht werden können (vergl. S. 43).

Dem anomalen Trichromaten wird besonders bei einer größeren Anzahl von Lichtern (Bahnhof!) leicht durch Farbenkontrast eine weiße Laterne grün erscheinen können usw.

Vor allen Dingen ist wichtig, daß die Farbenuntüchtigen, wenn sie die Signale erkennen wollen, viel mehr ihre Aufmerksamkeit anspannen, viel mehr überlegen müssen, wie der Normale, dem die Farben gleichsam im Schlaf sich aufdrängen; daß daher die Farbenuntüchtigen leichter an ihrer Spannkraft erlahmen müssen, ist begreiflich.

Bei der Bahn sind außerdem noch farbige Tagessignale in Gebrauch in Gestalt farbiger grüner Scheiben (z. B. Vorsignale!).

Bei Nebel, oder wenn die Farben verblaßt oder verstaubt sind, ist der Farbenschwache wie Farbenblinde hier viel schwerer bezw. erst sehr spät in der Lage, die Farbe zu erkennen (vergl. die Symptome der Farbenschwachen S. 56 ff.)[1]).

Bei der Anstellung von Eisenbahnbeamten sind demnach mit Recht nicht nur die Farbenblinden, sondern auch diejenigen, welche sich sowohl bei der Prüfung mit der Rayleighgleichung als mit den Nagelschen oder Stillingschen Proben als farbenschwach erweisen, als unbrauchbar abzulehnen.

Im Marinedienst liegen die Verhältnisse im allgemeinen sehr ähnlich, denn auch hier handelt es sich um die Unterscheidung roter, grüner und weißer Laternen bezw. Lichter, die hier die sogen. Positionslaternen der Schiffe bilden. Wiederum muß der Hauptwert bei der Untersuchung auf Tauglichkeit nicht darauf gelegt werden, daß rote und grüne Lichter unterschieden werden können — das gelingt wie gesagt auch vielen Farbenblinden unter geeigneten Verhältnissen. Die Aspiranten müssen vielmehr in der Lage sein, sowohl rotes wie grünes Licht schnell und sicher von dem weißen zu unterscheiden, die sich ja in großer Zahl auf den Schiffen befinden. Bezüglich der Schwierigkeiten, die sich für Farbenblinde und -schwache hierbei ergeben, gilt das unter Eisenbahn gesagte.

Bei der Marine finden jedoch die Farben nicht nur als Positions-Laternen Anwendung, sondern bei Tage und Nacht werden sie in Gestalt von Raketen, Blinkfeuer, Bojen, Flaggen usw. verwendet, die oft in weiter Entfernung, bei ungünstiger Beleuchtung usw. erkannt werden sollen. Hier muß nach dem S 43ff. gesagten jeder versagen, der nicht einen völlig normalen Farbensinn besitzt, und daher muß für die Annahme zum Marinedienst die gleiche strenge Auswahl stattfinden wie für den Bahndienst.

Schiffs- und Eisenbahnkatastrophen, welche infolge Farbensinnstörungen des Personals entstanden sind, hat Nagel (16) vor einigen Jahren zusammengestellt.

Bei Touristen-Wegmarkierungen wurde auch die Rücksichtnahme auf die große Zahl der Farbenuntüchtigen gefordert (Mauthner) und dementsprechend vorgeschlagen, nur Weiß, Gelb und Blau als Markierungsfarben zu verwenden. Es wird jedoch schwer sein, gerade auf die rote Farbe zu verzichten, da rote Marken den Normalen, die ja nun doch noch die Überzahl bilden, ganz besonders im Gelände auffallen (Kontrast

[1]) Näheres s. Nagel, Einführung in die Kenntnis der Farbensinnstörungen und ihre Diagnose. Wiesbaden, Bergmanns Verlag 1908, 1 M.

gegenüber grüner Vegetation, Auffälligkeit roter Farben überhaupt, Möglichkeit, sie technisch ziemlich leuchtend herzustellen).

Der ärztliche Beruf. Ein erheblicher Teil unserer gesamten Diagnostik gründet sich auf die Wahrnehmung von Farbenunterschieden; und meist sind es gerade zarte und ungesättigte Töne, von deren Wahrnehmung die richtige Diagnose abhängt. Hierzu gehören die Exantheme der Haut und Schleimhaut, wie Roseola, der beginnende Ikterus, die Veränderungen am Augenhintergrund usw. Auch die große Reihe der chemischen Reaktionen gehören hierher, wie z. B. die Methylviolettprobe beim Magensaft und nicht zum wenigsten die mikroskopische Diagnose bei bakteriologischen Untersuchungen. Überall wird der farbenblinde Arzt gegenüber dem farbentüchtigen im Nachteil sein. Nun gibt es ja eine ganze Anzahl farbenblinder Ärzte, die ihren Beruf nicht schlechter ausfüllen als die normalen. Sie haben eben gelernt, durch Erfahrung und durch Beobachtung kleiner sekundärer Hülfen, wie Helligkeitsunterschiede, Beleuchtungsdifferenzen usw., ihren Fehler mit Erfolg möglichst auszugleichen. Immerhin werden oft Verdruß und Enttäuschungen nicht ausbleiben. Das gilt, wenn auch in geringem Maße, auch für den Farbenschwachen, der feine, schwach gesättigte Farben, Rötungen usw. übersehen kann und auch unter den Schwierigkeiten beim Mikroskopieren (Bakterien) leidet. Man sollte deswegen auch Farbenblinden nicht zum Arztberuf zureden, zum mindesten aber vor Spezialfächern, wie die Ophthalmologie, direkt warnen. Denn mit dem Augenspiegel sind wir eigentlich nur auf feinste Sättigungsabstufungen von Rot und Gelb angewiesen, und hierbei kann weder der Farbenblinde noch hochgradig Anomale diagnostisch das gleiche leisten wie ein normaler. Dagegen halte ich es für zu weit gegangen, vom ärztlichen Beruf auch anomale Trichromaten mäßigen und leichten Grades fernhalten zu wollen. Sie helfen sich im allgemeinen ganz gut bei der Beurteilung der Farben durch. Denn sie finden immer noch viel günstigere Beobachtungsbedingungen, als der Maschinenführer bei der Eisenbahn auf einem in voller Fahrgeschwindigkeit befindlichen Zuge.

Malerei. Für die Malkunst scheiden die Farbenblinden bezw. die Gruppe der Rotgrünblinden so gut wie aus[1]). Die Verwechselungsmöglichkeiten sind für sie zu groß. Anders verhält es sich jedoch mit den Farbenschwachen. Bei kleinen Objekten und bei wenig gesättigten Farben nähern sie sich allerdings, wie wir sehen, den Farbenblinden und können auch Ver-

[1]) Interessenten seien auf Rählmann (30) verwiesen.

wechselungen begehen. Dagegen haben sie einen Vorteil, nämlich ihren gesteigerten Farbenkontrast, der ihnen bei Zusammenstellungen von verschiedenen Farben die Erkennung auch feiner Nuancen erleichtert. Sie haben deswegen im allgemeinen ein feines „Gefühl für Farbenharmonie" (Guttmann), überhaupt „ein fein entwickeltes Verständnis für Malerei, insbesondere für landschaftliche Stimmungsbilder" (König). In der Tat gibt es, wie Guttmann berichtet, „anomale" Maler, die Ausgezeichnetes leisten und deren Gemälde z. T. zu den bekanntesten gehören.

Die Diagnose der Farbenuntüchtigkeit.[1]

Wir verlangen für die Praxis ein Prüfungsverfahren, das möglichst schnell und möglichst sicher eine Entscheidung darüber herbeiführt, wer farbentüchtig und wer farbenuntüchtig ist; zunächst ohne Rücksicht auf die einzelnen Formen der Farbensinnstörung zu nehmen. Gleichzeitig muß auch dafür gesorgt werden, daß durch möglichst geringe Kosten dem Arzt die Anschaffung erleichtert wird.

Eine sachgemäße Prüfung kann niemals maschinenmäßig nach einer bestimmten Vorschrift geschehen, sondern muß wissenschaftlich d. h. mit Verständnis vorgenommen werden. Ferner haften allen für die Praxis bestimmten Methoden noch zuviel Mängel an, als daß eine einzige Methode unter allen Umständen die richtige wäre. Man macht es sich daher zur Pflicht, in zweifelhaften Fällen mit mehreren Methoden auf Farbentüchtigkeit zu untersuchen.

Nach Nagel sind von vornherein zwei Grundsätze erforderlich:

a) den zu Prüfenden müssen die farbigen Objekte unter ungünstigen Beobachtungsbedingungen dargeboten werden, d. h. sie sollen am besten nicht allzu gesättigte Farben haben, und sie dürfen vor allem nicht unter einem zu großen Gesichtswinkel erscheinen. Ist das der Fall, so werden die anomalen Trichromaten leicht bei der Prüfung durchschlüpfen, denn große farbige Objekte machen ihnen natürlich weniger Schwierigkeiten, ja sie können an Sicherheit im Urteil dem Normalen nahezu

[1]) Die Diagnose muß gesondert besprochen werden, obschon später gleichzeitig mit der Untersuchung auf erworbene Störungen des Farbensinnes die angeborenen ebenfalls mitberücksichtigt werden müssen. Aber bei der praktischen Diagnose auf Farbenuntüchtigkeit, z. B. bei der Zulassung für bestimmte Berufe, kommt oft eine erworbene Störung überhaupt nicht in Frage, sodaß die Gesichtspunkte bei der Ausführung der Untersuchung ganz andere sind und z. T. auch andere Methoden angewendet werden können.

gleichkommen (vergl. S. 60). Ja große Objekte können unter Umständen sogar die Farbenblinden unterscheiden (vergl. S. 45). Aus diesem Grunde ist die alte Holmgreensche Wollprobe nicht als ausreichend zu erachten. Auch im praktischen Leben, im Eisenbahn- und Marinesignaldienst erscheinen ja die farbigen Lichter fast stets unter einem so kleinen Gesichtswinkel, daß das Netzhautbild die Größe der Fovea centralis nicht überschreitet.

b) Der zu Prüfende soll nicht nur einzelne farbige Objekte benennen, sondern es sollen ihm stets mehrere verschiedene Farben gleichzeitig dargeboten werden. Es kommt dann vor allem darauf an, ob er sie unterscheiden kann oder nicht.

Die Benennungen farbiger Objekte lassen zweifellos auch hier in vielen Fällen von Farbenblindheit und Anomalie die Diagnose Farbenuntüchtigkeit stellen, entweder dadurch, daß die zu Prüfenden die Farben falsch nennen, oder sich durch Zögern oder Korrigieren verraten. Immerhin würde die Prüfung für die Praxis zu zeitraubend und noch dazu unsicher sein. Daß die Benennungen der Farben bei den Farbenblinden (und -Schwachen) noch kein Beweis für die Art der Farbenempfindung ist, wurde bereits früher betont. Dazu kommt noch, daß eine große Anzahl der Prüflinge ein Interesse hat, ihren Fehler zu verbergen und alle Hülfsmitel anwendet, um die Farbe zu erraten. Hiervon hat jeder Farbenblinde eine ganze Menge zur Hand (vergl. S. 45). Man müßte deswegen, um Sicherheit zu haben, mit einer größeren Anzahl verschiedener Farbentöne und Sättigungsstufen arbeiten. Das kostet erstens Zeit und außerdem begegnet man hier häufig einer Ungeschicklichkeit und Unkenntnis der Farbennuancen, — man denke an die Rekruten bei der Marine! — gegen die man mit allem Witz nichts ausrichtet.

Bietet man mehrere Farben gleichzeitig dar, so wählt man am besten von vornherein solche, welche Farbenblinde und anomale Trichromaten erfahrungsgemäß leicht verwechseln bezw. als gleich ansehen; auf diese Weise wird die Dauer der Prüfung abgekürzt. Derartige Proben, welche der Normale in verschiedenen Farben, der Farbenuntüchtige aber gleichfarbig sieht, nennt man pseudoisochromatische Proben.

Von pseudoisochromat. Gleichungen spricht man dann, wenn es sich nicht um feste Zusammenstellungen von sog. Verwechselungsfarben handelt, wie bei Stillings und Nagels Tafeln, sondern wenn sich die Vergleichsfarben in irgend einer Weise veränderlich einstellen lassen, wenigstens hinsichtlich der Helligkeit (wie bei der Nagelschen Lampe).

Für die Praxis und für Massenprüfungen empfiehlt sich bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Schnelligkeit, Sicherheit und Billigkeit folgendes Prüfungsverfahren auf Farbenuntüchtigkeit, das zur Zeit bei der Staatseisenbahnverwaltung eingeführt ist:

1. Untersuchung mit den Nagelschen Tafeln. Typische Fehler bei der Probe beweisen Farbenuntüchtigkeit, sicheres Bestehen gilt als Farbentüchtigkeit. Doch erfolgt am Besten gleich Kontrollprüfung mit Stillings Tafeln.

Bei unsicherem Ergebnis bezw. im Zweifelfalle: Nachprüfen mit anderen Methoden, wenn möglich

2. mit der Rayleighgleichung, weil sie stets ein „positives" Ergebnis liefern muß. Hierunter verstehe ich, daß es in jedem Falle möglich ist, eine Gleichung zu bekommen, entweder eine der normalen entsprechende oder nicht. Nach ihrem Ausfall wird im Eisenbahndienst die obergutachtliche Entscheidung gefällt; das darf aber nur unter gleichzeitiger Berücksichtigung des Untersuchungsergebnisses mit den Nagelschen Tafeln oder weiterer Methoden geschehen:

a) Anomale R-Gleichung + Unsicherheit bei 1 = Farbenuntüchtigkeit.
b) Anomale R-Gleichung[1]) + Bestehen bei 1 = Grenzfall zwischen Farbentüchtigkeit und Untüchtigkeit: Bereits im Dienste befindliche Beamte werden in Stellung belassen, Anwärter werden zurückgewiesen (Rosmanit).
c) Normale R-Gleichung + Unsicherheit bezw. Nichtbestehen von 1 = Farbenuntüchtig oder Untersuchen mit weiteren Methoden. (Das Vorkommen dieser Form ist noch unsicher.)
d) Normale R-Gleichung + Bestehen von 1 = sicher Farbentüchtig (näheres s. u.).

Ergeben sich auch bei der Rayleighgleichung noch Einstellungen, bei denen man im Zweifel ist, ob man sie den normalen oder anomalen Gleichungen zuzählen soll, so mögen Nagels + Stillings Tafeln ev. mit der Gleichungslampe entscheiden.

Nagels „Tafeln zur Untersuchung des Farbenunterscheidungsvermögens".[2])

Für das Untersuchungsverfahren genügt als Anleitung durchaus die den Tafeln beigegebene Anweisung. Es soll hier nur noch-

[1]) Vergl. Fußnote auf S. 61.

[2]) Verlag von J. F. Bergmann. Preis 1,30 M. Die Tafeln sind nicht im Buchhandel käuflich, sondern nur direkt vom Verleger zu beziehen.

mals betont werden, daß es unumgänglich notwendig ist, sich streng an die Untersuchungsregeln zu halten und nicht selbstständige abkürzende Modifikationen einzuführen. Jede der von Nagel angegebenen Fragen hat seinen ganz bestimmten Zweck. Das Prinzip der Tafeln ist kurz folgendes.

Die Tafeln bestehen aus zwei Abteilungen A und B. In der Abteilung A befinden sich 16 Tafeln mit Punkten (Fig. 10), die in der Hauptmasse aus Verwechselungsfarben der Farbenblinden bestehen, nämlich Grau, ungesättigtes Purpurrot, also Rosa und ungesättigtes Blaugrün, die dem Farbenblinden alle in einem unbestimmten Grau erscheinen (vergl. S. 42). Daher ist weder der Farbenblinde, noch bei der gewählten Versuchsanordnung auch der Anomale (wenn auch in geringerem Grade) im stande, das Rosa und Grün auseinander zu halten und besonders letzteres vom Grau zu unterscheiden. Als wirklich „farbig" heben sich für den Farbenblinden nur die gelbbraunen und gelbgrünlichen Punkte hervor; sie erscheinen ihm eben gelblich, in einer warmen Farbe und werden deswegen leicht für Rot gehalten (vergl. S. 44). Auf die Frage nach roten Punkten werden deswegen von den Farbenblinden (kaum von den Anomalen!) häufig die gelbgrünen gezeigt.



Fig. 10.
Anordnung der Punkte auf einer Nagelschen Tafel
(die Punkte sind in Wirklichkeit verschiedenfarbig).

Die Tafeln der Abteilung B zeigen ebenfalls verschiedenfarbige Punkte, die vorwiegend zur Erkennung der Anomalen bestimmt sind. Hier verraten sie sich durch ihre gesteigerte Kontrastempfindung, indem sie braune Punkte neben den roten grün nennen.

Urteil: Machen die zu Prüfenden bei beiden Abteilungen, A und B, die in der Gebrauchsanweisung näher angegebenen Abweichungen, so ist an der Farbenuntüchtigkeit nicht zu zweifeln. Werden uns bei Abteilung A einige wenige Fehler gemacht, dagegen bei B nicht, so ist ohne weiteres noch nicht eine sichere Diagnose zu stellen. Hat man weiter keine Untersuchungsmethoden zur Hand, so untersucht man den Betreffenden ein zweites Mal sorgfältig mit Abteilung A. Empfehlenswert ist es aber, in solchen Grenzfällen die Methode zu wechseln und mit der Farbengleichungslampe und auch mit Stillings Tafeln nachzuuntersuchen. Werden alle diese Proben anstandslos und sicher bestanden, so braucht man kein Bedenken zu haben, eine Farbentüchtigkeit zu diagnostizieren. Sollten noch immer Zweifel bestehen, so kann man eine Entscheidung mit dem Anomaloskop bezw.

der Rayleighgleichung herbeiführen. Mit Hülfe von Tafeln, Gleichungslampe und Anomaloskop zusammen läßt sich ein endgültiges Urteil über die Farbentüchtigkeit nach wenigen Minuten in jedem Falle abgeben.

Die Nagelschen Tafeln stellen von den gebräuchlichen Methoden wohl die empfindlichste Probe dar. Aber auch, wenn sie prompt bestanden wird, läßt sich mit besonderen Hülfsmitteln zuweilen auch nachweisen, daß gegenüber dem Normalen der Farbensinn „schwächer" ist. Derartige ganz leichte Farbenschwäche läßt sich zweifellos praktisch der Farbentüchtigkeit zurechnen; sie zeigt, daß auch den Nagelschen Tafeln etwas willkürliches anhaftet, was für jeden Einsichtsvollen eigentlich selbstverständlich ist.

Bei Massenuntersuchungen ist das Aus- und Einpacken der Täfelchen lästig und zeitraubend, auch werden sie leicht schmutzig. Es empfiehlt sich, mehrere Serien vorrätig zu halten und jede, in anderer Reihenfolge, auf einen großen Karton aufzukleben. Diese Tafeln werden dann abwechselnd benutzt.

Die Untersuchung mit der Rayleighgleichung am Anomaloskop.

Die Rayleighgleichung ist ein äußerst wertvolles und zuverlässiges Mittel zur Feststellung der Farbenuntüchtigkeit, wenn in der Mehrzahl der Fälle auch ohne sie eine genügend sichere Diagnose mit den genannten Methoden zu erhalten ist.

Für obergutachtliche Entscheidungen muß sie nach wie vor als unentbehrlich bezeichnet werden. Denn bei ihr gibt es keinen zweifelhaften oder, wenn man will, keinen negativen Ausfall der Prüfung. Die Gleichung ist eben immer möglich; so gelangt man auf jeden Fall zu einem sicheren Urteil.

Immerhin reicht aber heute die Rayleighgleichung allein auch nicht mehr aus zur Beurteilung der Farbentüchtigkeit, wenn man vor Irrtümern bewahrt bleiben will. Denn, wie S. 60ff. ausgeführt wurde, deckt sich eine Abweichung von der Rayleighgleichung nicht immer mit den Symptomen der Farbenschwäche. Aus diesem Grunde ist der Ausfall der Gleichung nur unter gleichzeitiger Berücksichtigung der anderen Proben gutachtlich zu verwerten.

Zur Ausführung der Rayleighgleichung eignet sich am besten das Anomaloskop nach Nagel[1]), das in keinem größeren klinischen Institut fehlen sollte.

Von der Eisenbahnverwaltung ist es ebenfalls als Untersuchungsmethode eingeführt.

---

[1]) Nagel, 2 Apparate für die augenärztliche Funktionsprüfung, Zeitschr. f. Augenheilk. XVII S. 201, 1907. Das Anomaloskop wird geliefert von Schmidt und Haensch, Berlin. Preis 290 M., Montierung 35 M.,

Das Anomaloskop wird in 2 Modellen geliefert, von denen das einfachere vollkommen für die Diagnostik ausreichend ist. Bei diesen befindet sich auf einem Metallfuß ein „Kollimatorrohr" (K, Fig. 11), das der Lichtquelle

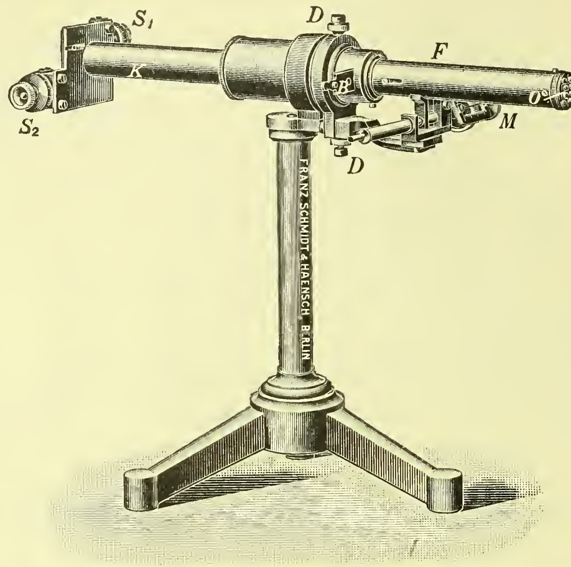


Fig. 11.
Anomaloskop nach Nagel, größeres Modell. S_1 und S_2 Stellschrauben, K Kollimatorrohr, D Prismenteil, F Okularrohr, O Okularspalt, D M Schraube um das Okularrohr zu verstellen, sodass nacheinander alle Lichter des Spektrums eingestellt werden können (fehlt bei dem kleinen Modell), B Blende, um die Feldgrösse zu verändern.

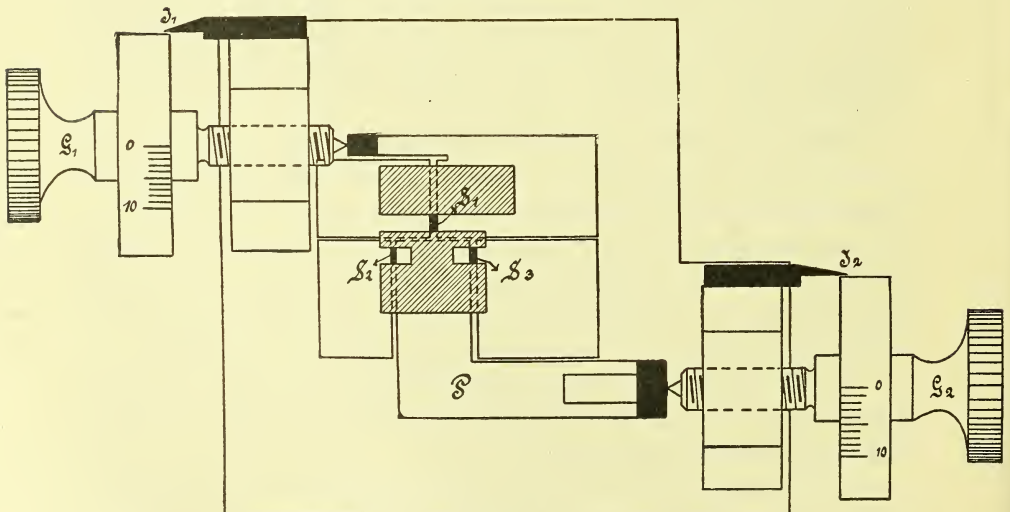


Fig. 12.
Spaltvorrichtung am Anomaloskop, welche der Lichtquelle zugewendet ist.

zugewendet ist, und ein Okularrohr (F, Fig. 11) in fester Verbindung mit einem kleinen Mittelteil (D), welcher einen Prismenkörper enthält. Das

Kollimatorrohr trägt die Spaltvorrichtung (vergl. Fig. 12), durch welche das Licht in den Apparat fällt. Man erblickt von außen hinter einer kleinen Sammellinse drei Spalte, einen oberen S_1, und darunter zwei weitere nebeneinanderbefindliche, S_2 und S_3. Durch den oberen Spalt wird die untere Hälfte des farbigen Feldes, welches der Beobachter sieht, mit Natriumgelb erleuchtet. Die beiden unteren Spalte erleuchten die obere Hälfte des Objektfeldes gleichzeitig mit Lithiumrot und Thalliumgrün[1]). Diese beiden Spalte sind „gekoppelt", d. h. der eine kann nur auf Kosten des anderen vergrößert werden, sodaß die Summe der Breite beider Spalte und ihr Abstand stets unverändert bleibt. Auf diese Weise kann das Mengenverhältnis der Rotgrünmischung vom reinen Rot bis zum reinen Grün verändert, stets durch Veränderung der Weiten der beiden „gekoppelten" Spalte.

Das durch den Okularspalt sehende Auge des Beobachters sieht ein kreisrundes Objektfeld. Es wird durch eine horizontale Linie (Prismenkante) halbiert. Die untere Hälfte zeigt Natriumgelb, die obere Hälfte das Gemisch aus Rot und Grün.

Am Apparat befinden sich nun 2 Stellschrauben G_1 und G_2, durch welche die Weite der 3 Spalte reguliert wird; ihre Umdrehung ist auf je einer Trommel mit Skala ablesbar (Zeiger J_1 und J_2). Die r e c h t s vom Beobachter befindliche Schraube verändert nur die Helligkeit der unteren homogenen hellen Hälfte des Feldes, die l i n k e Schraube reguliert das Mischungsverhältnis Rot-Grün in der oberen Feldhälfte. Will man also beide Hälften farbengleich machen, so muß man an der linken Schraube G_2, will man beide hellgleich machen, an der rechten Schraube G_1, drehen (näheres siehe Beschreibung bei N a g e l l. c.). Die Lichtquelle besteht aus einer Mattglasscheibe, welche 18 cm von den Spalten entfernt ist und entweder von einer dahinter befindlichen Nernstlampe oder Gasglühlicht ihr Licht empfängt. Es ist ratsam, die Lichtquelle und den Apparat entweder auf einem Tisch dauernd fest zu montieren oder sich auf ihm Marken zu machen, sodaß beide jedesmal in genau gleiche Lage zueinander gebracht werden können. Die neueren Apparate werden gleich auf einem Brett montiert geliefert und sind für Gas- bezw. Spiritusglühlicht eingerichtet.

Gang der Untersuchung.

Es ist notwendig, folgende Regeln bei der Prüfung zu beachten:

1. Brillentragende Beobachter setzen besser die Gläser während der Prüfung ab.

2. Vor der Untersuchung orientiert man den zu Prüfenden darüber, daß für jeden Menschen die beiden Hälften des Objektfeldes ganz gleich aussehend gemacht werden können, und daß es auf feine Unterschiede in Helligkeit und Sättigung ankommt. Man fordert also auf, sich bei der Genauigkeit der Einstellung bezw. der Angaben die größte Mühe zu geben.

---

[1]) In Wirklichkeit stimmt am Apparat das Rot und Grün nicht mit der Lithium- und Thalliumlinie überein, sondern die beiden Lichter liegen näher aneinander. Das erwies sich als notwendig, weil in ersterem Falle viele Beobachter überhaupt keine völlige Gleichung erhalten können.

Schickt man eine derartige Rede nicht voraus, so erlebt man zuweilen, daß die Beobachter zwar sagen: „jetzt sind beide Hälften des kreisförmigen Feldes ganz gleich", während sie in Wahrheit noch einen Unterschied in der Farbe ganz gut wahrnehmen. Sie denken eben, es genüge, „wenn es so ungefähr stimmte" usw.

3. Man lasse die Beobachter stets nur kurze Zeit — einige Sekunden — in den Apparat blicken. Ein nochmaliges Nachkontrollieren der Einstellung seitens des zu Prüfenden empfiehlt sich immer. Aber es muß dabei beobachtet werden, daß anomale Trichromaten sehr häufig die ursprünglich eingestellte Gleichung bei erneutem Hinsehen für den ersten Augenblick verwerfen und erst nach mehreren Sekunden wieder die beiden Hälften für gleich halten.

4. Prüft man das zweite Auge, so läßt man am besten das zuerst untersuchte zuhalten. Ein Teil der Beobachter findet sonst den Okularspalt sehr schwer und stößt erst längere Zeit mit dem Nasenrücken auf dem Okularrohr herum.

Es ist nach den heutigen Erfahrungen nicht möglich, ein sicheres Urteil über die Farbentüchtigkeit dadurch zu erhalten, daß man nur die Schraube, welche das Rotgrüngemisch bedient, dreht und zusieht, wenn der Beobachter eine Gleichung erhält. Vielmehr müssen eine Anzahl verschiedener Einstellungen gewählt werden. Zweckmäßig ist folgende Reihenfolge:

1. Oben reines Spektralrot (Rotgelbgleichung!). Durch Änderung der Helligkeit des gelben Feldes (rechte Schraube!) versuchen, ob völlige Gleichung möglich ist.

2. Rechte Schraube (Helligkeit des Gelb) unveränderlich auf die Zahl einstellen, welche der Gleichung des Normalen entspricht (bei den neueren Apparaten meist 14; sie wird den Apparaten beigegeben). Die linke Schraube (Rotgrüngemisch) wird so lange verändert, bis völlige Gleichung erreicht ist, was in der Mehrzahl der Fälle, aber nicht in allen gelingt.

3a. Linke Schraube auf die Durchschnittszahl der Deuteranomalen einstellen (10—15 Teilstriche niedriger, wie der Normale); durch Drehen der rechten Schraube versuchen, ob Gleichung möglich.

3b. Linke Schraube auf die Durchschnittszahl der Protanomalen einstellen (ca. 10 Teilstriche höher wie der Normale); Drehen der rechten Schraube bis Gleichung möglich.

Besteht Verdacht, daß extreme Anomalie vorliegt, oder **will man Rotgrünblindheit sicher feststellen,** so stellt man

4. im oberen Feld reines Grün ein. Durch Drehen der rechten Schraube versucht man, — wie bei der ersten Einstellung — Gleichung zu erhalten. Wenn dies gelingt, liegt eine extreme Anomalie vor.

Des näheren sei zu diesen Einstellungen folgendes bemerkt:

1. Einstellung: Man stellt die linke Schraube am Anomaloskop so, daß in der oberen Hälfte des Apparates reines Rot sichtbar ist (d. h. bis zu dem Anschlag, der an der Schraube angebracht ist). Man hat nunmehr die sogen. Rot-Gelbgleichung vor sich, welche bereits bei der Farbenblindheit eine Rolle gespielt hat.

Nunmehr verändert man durch Drehen der rechten Schraube die Helligkeit des gelben Feldes und versucht, ob für den Beobachter auf diese Weise völlige Gleichheit der beiden Feldhälften bezw. Halbkreise zu erhalten ist. Gelingt die Gleichung, so ist Farbenblindheit wahrscheinlich; der Normale und fast stets der anomale Trichromat sehen noch einen Farbenunterschied (vergl. aber S. 56 oben). Dabei sagt der Normale richtig Rot-Gelb bezw. Rot-Braun, der Anomale jedoch nennt in der Regel das Gelb infolge Kontrastwirkung grün. Sicher Rotgrünblindheit liegt vor, wenn auch Einstellung 4 angenommen wird.

Dabei zeigt die Stellung der rechten Schraube (Helligkeit des Gelb) gleichzeitig an, ob Protanopie oder Deuteranopie vorliegt. Bei ersterer muß die Stellung der Schraube etwa 6—8, bei letzterer etwa 23—25 der Einteilung auf der Trommel betragen. Änderungen der Schraube um mehr wie 2 Teilstriche von der gefundenen Stellung werden meist schon als verschieden abgelehnt.

Die Zahlen sind hier willkürlich herausgegriffen, bezw. sie beziehen sich nur auf das Anomaloskop der Berliner Augenklinik.

Es ist nun dringend anzuraten[1]), für den eigenen Apparat sich eine kleine Tabelle anzulegen bezw. sich die Zahlen der Einstellungen der Protanopen und Deuteranopen zu merken. Sie sind für jeden Apparat verschieden schon wegen der Beleuchtung, die einen großen Einfluß darauf hat. Im Laufe der Zeit ändern sich zuweilen auch für ein und dieselbe Lichtquelle die Zahlen etwas. Es ist deswegen ratsam, die beiden Einstellungen gelegentlich nachzuprüfen, besonders für wissenschaftliche Untersuchungen. Zu diesem Zwecke ist es sehr erfreulich, wenn man stets einige angeboren Farbenblinde beider Typen erreichbar hat.

2. Einstellung. Die Helligkeit der unteren „gelben“ Feldhälfte wird fest eingestellt auf die dem Apparat beigegebene Zahl, welche für die Gleichung des Normalen notwendig ist (bei den neueren Apparaten 14); die linke Schraube, welche das Rotgrüngemisch reguliert, dreht entweder der Untersucher oder man läßt intelligente Beobachter auch wohl selbst einstellen.

In der Mehrzahl der Fälle, nicht in allen, erhält man so eine völlige Gleichung zwischen beiden Hälften des Feldes. Die

[1]) S. a. Nagel, Zeitschrift f. Augenheilkunde, XVII, S. 201.

Einstellung des Rotgrüngemisches ist dann für die Diagnose maßgebend. Für die Begutachtung gilt folgendes als Anhalt.

Sehr bald wird man bemerken, daß man nicht verschiedene scharf charakterisierte Typen von Einstellungen des Rotgrüngemisches erhält, sondern eine fortlaufende Reihe von Übergängen. Bekanntlich zeigt schon die Einstellung des Gemisches für den Normalen individuelle Schwankungen (S. 16), die nicht unbeträchtlich sind. Da nun von der Einstellung der Gleichung das Urteil über die Farbentüchtigkeit zum großen Teil abhängt, fragt es sich, welche Einstellung des Rotgrüngemisches kann man noch zu der Normalen rechnen und was ist bereits anomale Gleichung. Die Grenze zwischen Normal und Anomal ist nach den heutigen Erfahrungen vermutlich keine scharfe; wir sind daher auf mehr oder weniger willkürliche, auf Erfahrung gegründete Grenzen angewiesen.

Die Einstellung des Normalen an der linken Schraube (Rotgrüngemisch) schwankt etwa innerhalb 8 Teilstriche, in der Mehrzahl der Fälle nur innerhalb 5 Teilstriche (am Anomaloskop der Berliner Klinik [Gasglühlicht] liegen die Zahlen zwischen 56 und 63.

a) Wenn die Einstellung des Normalen angenommen wird, ist damit noch nicht bewiesen, daß auch wirklich Farbentüchtigkeit vorliegt. Allerdings, sind die Nagelschen Tafeln sicher bestanden worden und wird am Anomaloskop die Normalengleichung schnell eingestellt, während geringe Veränderungen des Rotgrüngemisches abgelehnt werden, so handelt es sich fast stets um Normale.

Aber auch anomale Trichromaten, besonders gerade die hochgradigen Anomalen, können auch, gleichsam zufällig, die Normalengleichung annehmen bezw. einstellen, besonders bei der gewählten Helligkeit des Natriumspaltes. Man darf daher nicht sofort nach flüchtiger Untersuchung ein Urteil fällen, sondern muß erst noch die Einstellung 3a und 3b wählen.

b) Wer die Anomalengleichung ablehnt und dafür eine Einstellung wählt, die sie nach dem Grün oder Rot hin um etwa 5 weitere Teilstriche überschreitet, ist als anomaler Trichromat zu bezeichnen und als farbenuntüchtig anzusehen, wenn er bei der Nagelschen Tafelprobe nicht absolut sicher ist. (Das ist natürlich meist nicht der Fall, da in der Regel nur unsichere Fälle zur Nachprüfung am Anomaloskop gelangen.)

Die seltenen Fälle, bei denen die Gleichung zwischen diesen Einstellungen und denen des Normalen liegt, sind als zweifelhaft

zu bezeichnen. Dann ist die Untersuchung mit weiteren Proben (Nagels Tafeln, Stillings Tafeln, Gleichungslampe u. a.) notwendig. Ergibt sie keine Farbenschwäche, so kann der Beobachter als farbentüchtig gelten, anderen Falls als untüchtig.

c) Bei einer Reihe von Beobachtern — wenn auch bei der Minderzahl — erzielt man bei dieser Art der Einstellung überhaupt keine vollkommene Gleichung, sondern sie wird höchstens annähernd erreicht. Der Grund ist darin zu suchen, daß die Helligkeit der Felder für den Beobachter nicht stimmt, und die Stellung der rechten Schraube (Helligkeit des Gelb) verändert werden muß. Es kann sich handeln

α) um protanomale Trichromaten, welche die Neigung haben, mehr Rot zum Rotgrüngemisch zu brauchen, aber ähnlich, wie die Protanopen das Gelb viel dunkler haben müssen (etwa auf 4—5 Teilstriche);

β) um gewisse Deuteranomale, welchen umgekehrt das Gelb nicht hell genug ist.

Auch für einzelne Normale muß die Gelbhelligkeit ein wenig geändert werden, weil sie sonst keine vollkommene Gleichung erhalten.

Aus diesem Grunde ist die Einstellung 3a und 3b erforderlich, erstens, um in den letztgenannten Fällen überhaupt eine Gleichung zu ermöglichen, zweitens als Kontrolle, damit nicht einige Anomale doch noch durchschlüpfen, die vorher zufällig mal die Normalengleichung angenommen haben.

3a. — Einstellung. Man kehrt jetzt das Einstellungsvorgehen gleichsam um, indem man die linke Schraube (Rotgrüngemisch) auf eine bestimmte Zahl unveränderlich einstellt, dagegen die rechte bewegt. Dazu wählt man am besten die Durchschnittseinstellungen der Deuteranomalen, d. h. man stellt die linke Schraube auf etwa 49. Wird dann durch diesen rechts, also durch Ausgleichen der Helligkeit eine — wenn auch nur vorübergehende — Gleichung erzielt, so liegt Deuteranomalie vor; der Beobachter ist farbenuntüchtig (in der Regel wird die Stellung der rechten Schraube dabei 19—21 betragen).

3b. — Einstellung. Kommt man auch hierbei zu keinem Ergebnis, und besteht die Neigung, mehr Rot zur Mischung hinzuzunehmen, so stellt man die linke Schraube (des Rotgrüngemisches) auf die Durchschnittszahl des Protanomalen, also auf etwa 70. Wird dann durch Drehen der rechten Schraube eine Gleichung erzielt, so liegt Protanomalie vor. (In der Regel wird die rechte Schraube auf eine niedrigere Zahl gestellt werden. Farbenuntüchtigkeit besteht nur dann, wenn die Untersuchung mit den Tafeln nicht ganz sicher ist.

Die beiden genannten Einstellungszahlen für das Rotgrüngemisch sind aber durchaus willkürlich gewählte Durchschnittszahlen. Es wäre möglich, daß der eine oder andere Beobachter auch auf diese Weise noch keine Gleichung erhält, dann kann noch das Rotgrüngemisch um einige Teilstriche verändert und dann die Probe wiederholt werden, bis eine volle Gleichung zwischen beiden Feldhälften erzielt ist. Eine Gleichung muß in jedem Falle erhalten werden. (Über die Schwierigkeiten, die sich zuweilen bei den Anomalen ergeben, s. S. 54).

Einem intelligenten Beobachter kann man auch anstelle 3a und 3b rechte und linke Schraube in die Hand geben und durch Drehen beider selbst die für ihn passende Gleichung einstellen lassen, was immer gelingen muß.

Man merkt dabei sehr bald, wenn man dem Beobachter zusieht, daß die Normalen mit Schnelligkeit und Sicherheit auf ihre Gleichung zu die Schrauben drehen. Anders die Mehrzahl der anomalen Trichromaten. Sie sind zögernd, machen mehrmals von einander sehr abweichende Einstellungen, die sich bei erneutem Hinsehen wieder korrigieren. Schließlich stellen sie zuweilen eine nahezu normale Gleichung ein, nicht selten gerade Extremanomale. Deswegen ist die nächste Kontrolleinstellung nicht überflüssig.

4. Einstellung. Man stellt die linke Schraube auf 0, sodaß das obere Feld rein Grün ist. Dann fordert man den zu Prüfenden auf, die rechte Schraube solange zu verändern, bis beide Felder vollkommen gleichfarbig sind. Gelingt dies, so handelt es sich um hochgradig (Extrem-) anomale Trichromaten, wird gleichzeitig die Einstellung 1 angenommen um Rotgrünblinde.

Einige Beispiele für Einstellungen der Rayleighgleichung, welche möglicherweise Schwierigkeiten bereiten könnten. An dem Anomaloskop betrage die Einstellung des Normalen an der linken (Rotgrün-) Schraube 56—63, an der rechten (Gelb-Helligkeit-) Schraube 14.

Fall 1: Einstellung 1: Rot-Gelbgleichung wird abgelehnt.
„ 2: Gleichung des Normalen wird abgelehnt; dagegen wird einmal zögernd das Rotgrüngemisch auf 49 etwa eingestellt; der Patient erklärt, die Felder wären annähernd gleich, aber völlig gleich bekäme er sie überhaupt nicht.
„ 3a: linke Schraube auf 49: durch Drehen der rechten Schraube wird völlige Gleichung erhalten (rechte Schraube auf 19—20 statt 14).
„ 4: Grün-Gelbgleichung abgelehnt.
Diagnose: Deuteranomalie mittleren Grades und farbenuntüchtig; Nagels Tafeln werden nicht bestanden.

Fall 2: Einstellung 1: Rot-Gelbgleichung wird abgelehnt.
„ 2: Der Patient stellt sich selbst die Rot-Grünmischung auf etwa 55 zögernd ein, also nahe der normalen Einstellung.
„ 3a: (linke Schraube auf 49): auch hierbei wird durch Drehen der rechten Schraube völlige Gleichung erhalten.
„ 4: Grün-Gelbgleichung ist ebenfalls möglich.
Diagnose: extrem Deuteranomal und farbenuntüchtig. Nagels Tafeln werden nicht bestanden.

Fall 3: Einstellung 1: Rot-Gelbgleichung wird abgelehnt.
" 2: linke Schraube muß auf etwa 52—53 gestellt werden, dann Gleichung.
" 3a: (linke Schraube auf 49): Gleichung wird nicht möglich.
" 4: Grün-Gelbgleichung ebenfalls abgelehnt.
Diagnose: da Nagels Tafeln und Gleichungslampe fehlerlos bestanden werden, als farbentüchtig erklärt.

Fall 4: Einstellung 1: Angenommen, aber erst nach einigen Sekunden.
" 2: Rot-Grüngemisch wird auf 59 gestellt, also normal, Die Gleichung entspricht also der Normalen.
" 3a: Abgelehnt, 3b: Angenommen.
Diagnose: Obwohl der Beobachter bei Nagels Tafeln und anderen Methoden sich als nicht farbenschwach erweist, wird er wegen des Verhaltens bei der Rayleighgleichung als farbenuntüchtig erklärt.

Weitere Untersuchungsmethoden auf Farbenuntüchtigkeit.

Die beiden genannten Methoden, Nagels Tafeln und Anomaloskop sind zwar amtlich eingeführt und schnell und sicher arbeitende Untersuchungsmethoden, aber sie stellen keinesfalls die einzigen dar. Und wenn sie auch zur Zeit zu den vollkommensten gehören, so werden auch sie später noch weiter vervollkommnet werden und schließlich anderen Platz machen müssen. Die Zahl der überhaupt angegebenen Methoden zur Prüfung auf Farbentüchtigkeit ist zu groß, um sie hier auch nur alle zu erwähnen. Meines Erachtens liegt die Beschreibung sämtlicher Methoden überhaupt außerhalb des Rahmens dieses Buches. Nur einige der am meisten gebräuchlichen sollen noch erwähnt werden, im übrigen muß für klinische Methoden auf Landolt (9) und für physiologische auf Tigerstedt (24) verwiesen werden. Es ist dabei zu betonen, daß in zweifelhaften bezw. in Grenzfällen es stets wünschenswert ist, außer Nagels Tafeln und Anomaloskop noch mit anderen Methoden zu untersuchen. Hierfür kommen von einfacheren Methoden für die Praxis im wesentlichen zwei in Betracht, nämlich Stillings Tafeln und eine Farbengleichungslampe, z. B. nach Nagel-Köllner (s. u.).

Nicht zweckmäßig für die Ausscheidung der Farbenuntüchtigen sind die Holmgreenschen Wollproben, die schon wegen ihrer Größe und der gesättigten Farben viel zu günstige Beobachtungsbedingungen für die anomalen Trichromaten abgeben. Nur die Farbenblinden und hochgradig Anomalen werden damit ziemlich sicher entlarvt, vorausgesetzt, daß die Untersuchung richtig nach Vorschrift ausgeführt wird. Leider werden hierin oft die willkürlichsten Modifikationen angewendet,

daher schlüpfen oft auch noch Farbenblinde durch. Hiervon haben die Nachuntersuchungen von Eisenbahnbeamten, welche bereits mehrfach die Holmgreensche Probe passiert hatten, wiederholt Zeugnis abgelegt[1]).

Man muß eben bedenken, daß Holmgreen seine Methode zu einer Zeit angegeben hat, wo die Bedeutung der Anomalen bezw. der Farbenschwachen noch nicht bekannt war. Die von verschiedenen Autoren angegebenen Modifikationen leisten kaum mehr wie die ursprüngliche Wollprobe.

Ebenso wenig ratsam ist die ausschließliche Untersuchung durch Benennenlassen der farbigen Signallichter Rot, Grün, Weiß, bei der etwa von der Überlegung ausgegangen wird, daß es praktisch nur auf die Unterscheidung der drei Lichter ankäme. Selbst wenn an einem Apparat in ausreichender Weise jede der verschiedenen Beobachtungsbedingungen, die auf freier Strecke eintreten können, erzielt wird, so leiden alle derartigen Untersuchungen, auch die praktische Prüfung auf der Strecke, von vornherein an einem Hauptfehler: sie rufen bei dem zu Prüfenden eine Konzentration der Aufmerksamkeit hervor, die er in seiner Tätigkeit nicht zu besitzen pflegt und auf die Dauer gar nicht besitzen kann. Was ihm wohl möglich ist, bei angespannter Aufmerksamkeit zu unterscheiden, das kann ihm bei Abspannung leicht entgehen. Hier liegt eine große Gefahr. Bei den Normalen kann ein solches Versagen in dieser Weise nicht vorkommen, denn ihnen wird die Entscheidung, welche Farbe, Rot, Weiß oder Grün gleichsam im Schlaf gegeben.

Neben anderen Untersuchungen können jedoch derartige Lichterapparate zur Aufklärung oder Überführung einzelner Beobachter ganz gut mitverwendet werden. Es sind mehrere derartige Apparate konstruiert worden; auch kann man sie sich selbst leicht herstellen. Bemerkt sei, daß gewisse Modifikationen der Signallichter (2 Signal-Farben nebeneinander in verschiedener Größe und Helligkeit) auch der Farbengleichungsapparat (s. u.) gestattet.

Schließlich sei nochmals hervorgehoben, daß das richtige Benennen farbiger Lichter, auch wenn sie dem Spektrum entnommen sind, keine Gewähr bietet, daß keine Farbensinnstörung vorliegt. Deswegen sind alle Proben, die hierauf abzielen, für die Entscheidung über die Farbentüchtigkeit nicht maßgebend, sie können nur als Nebenuntersuchung Verwendung finden.

---

[1]) Nagel hat bei einer Nachuntersuchung unter einer größeren Zahl Eisenbahnbeamter noch 5% Farbenblinde gefunden, obwohl alle die Holmgreensche Probe früher passiert hatten.

Eine Reihe von Untersuchungsmethoden sind im Prinzip der Anwendung den Nagelschen pseudoisochromatischen Tafeln und der Gleichungsmethode am Anomaloskop mehr oder weniger nahe verwandt.

Hierher gehören vor allem die **Stillingschen Tafeln,** die sich mit Recht einer weiten Verbreitung erfreuen. Auch sie stellen, wie Nagels Tafeln eine pseudoisochromatische Probe in fester Anordnung dar, sie sind übrigens viel älter als die Nagelschen.

Auf den Tafeln sind auf weißem Grunde mosaikartige Farbentüpfel verteilt von verschiedener Sättigung und Helligkeit. Die in den Verwechselungsfarben für die Farbenblinden bezw. -schwachen gedruckten Tüpfel sind in Zahlenform angeordnet, so daß der zu Prüfende einfach die Tafeln zu lesen hat (s. Fig. 13). Eine kurze Beschreibung und Anweisung ist den Tafeln beigegeben.

Es ist mehrfach behauptet worden, daß die Stillingschen Tafeln sowohl bei positivem wie negativem Ausfall der Prüfung weniger zuverlässige Ergebnisse zeitigen wie die Nagelschen. Jedenfalls leisten sie nicht mehr, sind aber als Kontrolluntersuchung sehr nützlich, besonders dort, wo kein Anomaloskop (oder ähnlicher Spektralapparat) angeschafft werden kann. Wagt man bei der Untersuchung mit Nagels Tafeln noch nicht, eine Farbenuntüchtigkeit zu diagnostizieren, so erleichtert ein Versagen auch bei Stillings Tafeln die Entscheidung sehr. Ergeben sich Differenzen zwischen den Prüfungsergebnissen bei Nagels und Stillings Tafeln, so würde sich empfehlen, vor der endgültigen Entscheidung entweder eine Spektraluntersuchung am Anomaloskop oder, wenn das nicht möglich, wenigstens als Dritte im Bunde eine Prüfung mit der Farbengleichungslampe vorzunehmen. Geben zwei Methoden von den Dreien das gleiche Ergebnis, so kann die Entscheidung hiernach gefällt werden.

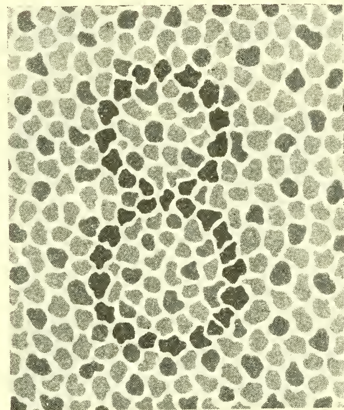


Fig. 13.
Wiedergabe einer verkleinerten Stillingschen Tafel.

Neuerdings hat Zeemann (28) eine spektrale Versuchsanordnung angegeben, welche sich an Projektionsbogenlampen anbringen läßt und mehr Variationen der Lichter und Lichtgemische gestattet, als selbst das größere Modell des Anomaloskops, ohne erhebliche Unkosten. Ich habe noch keine eigene Erfahrung über den Apparat. Für die Diagnose der Farbentüchtigkeit genügt jedenfalls auch die Prüfung mit der Rayleighgleichung, wie sie am Anomaloskop geschieht. Bedenklich könnte die Verwendung von Bogenlampen erscheinen wegen ihrer Unbeständigkeit in der Lichtstärke (s. später).

Das Chibretsche Chromato-photoptometer kommt dem Anomaloskop kaum gleich, es ist übrigens auch kein Spektralapparat[1]) und arbeitet mit zwei komplementärgefärbten Vergleichsfeldern. Es wurde früher viel angewendet und besonders in der älteren Literatur findet man häufige Angaben über Untersuchungsergebnisse mit dem Apparat.

Eine bisher noch nicht erwähnte Methode stellen die einstellbaren pseudoisochromatischen Gleichungen dar. Sie bilden außerordentlich wertvolle Untersuchungsmethoden, da bei ihnen der Patient nicht von Beurteilung von Farbentönen abhängig ist, sondern ähnlich wie bei der Rayleighgleichung nur anzugeben hat, ob zwei Felder gleich sind oder nicht. Deswegen bieten sie nicht nur für alle zweifelhaften Fälle gute Kontrolluntersuchungen, sondern sie können z. T. auch für sich allein angewendet, brauchbare Ergebnisse über die Farbentüchtigkeit liefern.

Es kommen zwei Apparate vor allen in Frage, die Nagel-Köllnersche Farbengleichungslampe, welche billig und für die Praxis ausreichend ist, und der Heringsche Apparat, welcher teurer, aber dafür viel mehr Variationsmöglichkeiten bietet. Bei der Nagel-Köllnerschen Lampe ist zwar Helligkeit und Gesichtswinkel der farbigen Felder veränderlich, aber die verschiedenen Farbentöne werden ohne Mischung nur durch eine entsprechende Zahl farbiger Gläser erzielt. Bei dem Heringschen Apparat kann durch Mischung auch der Farbenton verändert werden. Beide Methoden bedienen sich farbiger Gläser zur Erzielung des farbigen Lichtes.

Die Untersuchung mit der Nagel-Köllnerschen Lampe soll hier noch als Beispiel ausführlich mitgeteilt werden, weil das Verfahren sich ebenfalls für Schnelluntersuchungen eignet und eine genaue Prüfungsvorschrift anderweitig noch nicht existiert. Der Heringsche Apparat ist bei Besprechung der Diagnostik erworbener Farbensinnstörungen beschrieben.

Untersuchung mit dem Farbengleichungsapparat (Lampe) nach Nagel und Köllner[2]).

Der von Nagel ebenfalls angegebene Apparat ist ähnlich wie die Nagelschen Tafeln in erster Linie für die Praxis berechnet, nicht für wissenschaftlich-physiologische Untersuchungen. Der Hauptwert würde dabei auf Handlichkeit und Wohlfeilheit

[1]) Beschrieben in Mauthner, Farbenlehre. Wiesbaden, Bergmann 1894.

[2]) Erhältlich bei Oehmke, Universitäts-Mechaniker, Berlin NW, Luisenstr. 21. Preis 35 M. (das ältere Nagelsche Modell kostet 60 M.). Die Lampe ist für gewöhnlich für Gaslicht montiert. Auf Wunsch läßt sich auch eine andere Lichtquelle verwenden.

gelegt. Gleichzeitig ist der Apparat für die Diagnostik der erworbenen Störungen des Farbensinnes eingerichtet.

Der Apparat gestattet nicht nur bei Farbenblinden, sondern auch bei einem Teil der Anomalen selbst leichten Grades „Gleichungen" herzustellen und damit zu beweisen, daß der Farbenschwache in der Tat nicht in der Lage ist, gewisse Farben von anderen zu unterscheiden, z. B. Grün von Weiß. Infolgedessen ist die Methode als Kontrolle der Tafeluntersuchung in zweifelhaften Fällen auch bei Schnelluntersuchungen zu empfehlen.

Oftmals bestehen diejenigen Anomalen, welche bei den Tafeln sich als farbenschwach oder -unsicher erweisen, auch die Prüfung mit dem Gleichungsapparat nicht. Immerhin habe ich auch bei den Nagelschen und Stillingschen Tafeln Zögern und Unsicherheit (bei Intelligenten) beobachtet, während der Gleichungsapparat keine Störung ergab. Es scheint demnach die Tafelprobe doch die schärfere zu sein.

Demgegenüber muß aber hervorgehoben werden, daß mit einer solchen leichten Unsicherheit gegenüber den Nagelschen Tafeln bei Durchschnittsbeobachtern und wenig Intelligenten nichts anzufangen ist. Hier ist die Gleichungsprobe stets ein sicheres Verfahren; denn die Entscheidung, ob zwei Felder gleich oder nicht aussehen, ist stets einfacher zu treffen, als anzugeben, ob ein Punkt grau oder grünlich aussieht.

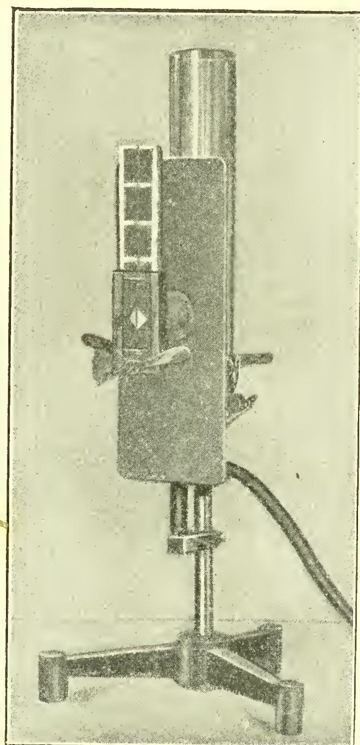


Fig. 14.
Farbengleichungsapparat Modell nach Köllner.

Das neuere Modell (nach Köllner) (Fig. 14) trägt vor der Lichtquelle (für gewöhnlich Gasglühlicht) eine kurze Röhre, welche durch eine vertikale Scheidewand in 2 Hälften getrennt ist. Jede Hälfte ist durch Mattglasscheiben verschlossen, sodaß sie von gleichmäßigem, hellen Licht erleuchtet sind. Diese beiden aneinanderstoßenden Lichtfelder können, jedes für sich, durch je einen Schieber gleichmäßig heller oder dunkler gemacht werden. Der Grad dieser Verdunkelung ist zwar nicht zahlenmäßig meßbar, weil die Lichtquelle nicht konstant genug ist, doch kann der Stand des Schiebers an einem kleinen Zeiger abgelesen werden, sodaß man sich selbst Marken anbringen kann.

Die beiden aneinanderstoßenden Feldhälften können außerdem von verschiedenfarbigen Gläsern farbiges Licht erhalten (die Gläser befinden sich auf zwei Metalleisten, die hin- und hergeschoben werden können. Als Farben sind (teils durch Kombination) eingefügt für das eine Feld: Rot, Gelb, Blaugrün (das bei der Eisenbahn verwendete Glas) Blau und Weiß; für das zweite Feld die gleichen Farben, nur anstelle des Eisenbahngrün ein mehr gelbliches Grün.

Ein annähernd reines Weiß wird dadurch erhalten, daß ein schwach bläuliches Glas eingelassen ist, um das Gelbweiß der Mattscheibe zu kompensieren. Die Anzahl der Farbenfilter kann übrigens nach Belieben jederzeit vermehrt und so die Methode weiter verbessert und vervollständigt werden; vielleicht läßt sich mit farbiger Gelatine noch brauchbares erreichen. Die beiden Objektfelder sind durch einen 2 mm breiten dunkeln Steg voneinander getrennt (die kleinste technisch erreichbare Entfernung). Das Objektfeld wird durch einen Aubertschen Schieber reguliert. Dieser läßt ein auf der Spitze stehendes Quadrat frei, dessen senkrechte Diagonale durch den Trennungssteg der beiden Feldhälften gebildet wird, sodaß zwei nebeneinanderliegende Farbendreiecke entstehen (vergl. Tafel 1). Durch einen Schieber kann das Quadrat und damit beide Farbendreiecke gleichzeitig in seiner Größe verändert werden. Die Seitenlänge des Quadrates ist auf einer kleinen Skala ablesbar, sie ist von etwa 1 mm bis 12 mm veränderbar. Der Beobachter ist durch einen kleinen Schirm gegen das blendende Lampenlicht geschützt.

Das ursprüngliche Nagelsche Modell unterscheidet sich nur dadurch, daß die farbigen Gläser auf zwei drehbaren Scheiben befestigt sind, sodaß keine weiteren Farben eingefügt werden können; ferner ist der dunkle Steg, der die beiden Farbenfelder trennt, erheblich breiter und schließlich sind die Objektfelder, die hier kleine Halbkreise darstellen, in ihrer Größe unveränderbar, sodaß der Gesichtswinkel, unter dem die Farben erscheinen sollen, durch die Entfernung des Beobachters vom Apparat reguliert werden muß. Der maximale Gesichtswinkel ist etwas kleiner wie bei dem erstbeschriebenen Modell.

Der Apparat wird bei der Benutzung am besten in der Nähe der Fenster so aufgestellt, daß die Felder vom farbigen Fenster abgewendet, also nach dem Zimmer gerichtet sind. Dann erscheinen die leuchtenden Farben auf dunkelem Grunde, und die Lichtreflexion an der Umgebung der Objektfelder kann nicht stören. Trotzdem ist jedoch der Platz so hell, daß wenigstens eine mäßige Helladaptation gewahrt wird. Die Fenster befinden sich am besten seitwärts und nach vorn vom Beobachter, d. h. der Apparat steht entweder zwischen zwei Fenstern oder neben einem (wenn die Fensterscheiben mattiert sind, wenigstens in den unteren Scheiben, ist das sehr angenehm, da das Auge nicht abgelenkt wird).

Allgemeine Regeln für die Prüfung.

Auch hier verfährt man, wie bei den Nagelschen Tafeln nach bestimmten Grundsätzen.

1. Als Entfernung des Beobachters vom Apparat wählt man am besten 1 m, als Seitenlänge der farbigen Felder im Beginn der Untersuchung 5 mm. Dann ist das Sehen im wesentlichen ein foveales.

2. Refraktionsanomalien sind wenigstens ungefähr zu korrigieren, damit der Beobachter mühelos in der Lage ist,



1.



2.



3.



3.



4.



5.

Verlag von S. Karger in Berlin NW 6

Einstellungen am Farbengleichungsapparat zur Diagnose der angeborenen Farbenuntüchtigkeit (vgl. S. 83.)

die beiden farbigen Dreiecke räumlich von einander zu unterscheiden.

3. Bei den Einstellungen kommt es weniger darauf an, wie der Patient die verschiedenen farbigen Felder benennt, sondern nur, ob „Gleichungen" zu erzielen sind oder nicht, d. h. man stellt fest, ob es möglich ist, daß der zu Prüfende 2 verschiedenfarbige Felder vollkommen gleich(-farbig und -hell) sieht, wenn man Helligkeitsunterschiede zwischen den beiden Vergleichsfeldern durch den Schieber des Apparates ausgleicht. Jede Gleichung zwischen verschiedenfarbigen Feldern ist für einen Normalen bei dem Gesichtswinkel, unter dem die Farben gesehen werden, natürlich unmöglich und stets das Zeichen einer Anomalie.

Eine Ausnahme bildet nur die erste Einstellung, bei welcher absichtlich keine Gleichung eingestellt wird (s. u.), sondern der Beobachter gefragt wird, welche Farben er sieht.

Gang der Prüfung.

Für die Diagnose der Farbenuntüchtigkeit werden nur die Gläser Rot, Gelb, Bläulichgrün und Weiß gebraucht (die anderen im Apparat sind für erworbene Farbensinnstörungen).

Reihenfolge der Einstellungen der Farben in die beiden Feldhälften[1]):

1. Hellrot — Dunkelrot (wird durch Schieberstellung erhalten).
2. Hellrot — Hellrot, auf beiden Seiten gleich.
3. Hellrot — Gelb.
4. Weiß — Weiß.
5. Bläulichgrün — Weiß.

Das Verhalten der Beobachter bei diesen Einstellungen.

1. Hellrot — Dunkelrot. Die Felder werden weder von dem Normalen noch von irgend einem Farbenblinden gleich gesehen. Man richtet die Frage an den zu Prüfenden: „welche Farben sehen Sie hier."

[1]) Die 3 Grundeinstellungen sind von Nagel bei seinem älteren Apparat angegeben, die beiden weiteren von mir hinzugefügt.

Der Normale und die Mehrzahl der Anomalen oder Farbenschwachen sehen sehr wohl, daß beide Felder Rot und zwar von verschiedener Helligkeit sind, und antworten ohne Zögern richtig. — Die hochgradig Anomalen, vor allem aber die Farbenblinden (Deuteranopen und Protanopen) sehen in Wirklichkeit Hellgelb — Dunkelgelb. Sie glauben, daß es sich in diesem Falle, wie auch sonst im Leben, um verschiedene Farben handelt, sie sagen daher gewöhnlich Rot und Grün, auch Gelb und Grün oder Rot und Gelb. Einzelne hochgradig Anomale nennen nach Nagel das Dunkelrot Grün (infolge Kontrastwirkung).

Hiermit sind die Farbenblinden meist schon herausgefunden.

2. Beiderseits gleichhell Rot. Lediglich eine vorbereitende Einstellung für die nächste, um den Beobachter sicher und harmlos zu machen. Er soll sehen, daß an dem Apparat in der Tat beide Felder gleich sein können. Selbstverständlich sieht jeder Farbenblinde wie Farbenschwache beide Felder vollkommen gleich.

3. **Rot — gelb,** die entscheidende Hauptgleichung für die Farbenblinden. Das rote Feld wird maximal hell gemacht (Schieber weit geöffnet), das Gelb solange verdunkelt, bis beide Felder völlig gleich (-farbig und -hell) erscheinen, soweit das überhaupt zu erzielen ist.

Wer die Einstellung bei irgend einer Schieberstellung völlig gleich sieht, ist farbenuntüchtig und in der Regel farbenblind. Denn die Farbenblinden unterscheiden Rot, Gelb und gelbgrün nur nach der Helligkeit, sie sehen sie sonst gleichmäßig Gelblich (die Endstrecke im Spektrum! vergl. S. 43). Muß dabei das gelbe Feld mäßig verdunkelt werden, etwa annähernd so, daß der Normale beide Felder für gleich hell (natürlich verschiedenfarbig) halten würde, so handelt es sich um Deuteranopie; muß das gelbe Feld um das mehrfache dunkler gemacht werden, so handelt es sich um Protanopie (dem Normalen erscheint dabei das Gelb gegenüber dem Rot viel zu dunkel, Braun).

Nicht gleichgesehen wird die Rotgelbeinstellung außer vom Normalen, auch von anomalen Trichromaten. Bei diesem äußert sich nunmehr meist sein gesteigerter Farbenkontrast, er nennt das Gelb neben dem Rot grün.

Der Kontrast tritt am besten hervor, wenn die beiden Felder Rot und Gelb dabei für den Anomalen auf gleiche Helligkeit gebracht werden.

Zuweilen findet man auch Grenzfälle zwischen Farbenblindheit und Anomalie. Diese hochgradig Anomalen sehen bei der ersten Prüfung oder im ersten Moment beide Felder gleich, dann aber tritt doch ein Kontrast rötlich-grünlich für sie auf.

Ebenso kommen, wenn auch seltener, Grenzfälle nach dem normalen Farbensinn hin vor, bei denen zuweilen auch die Rotgelbgleichung angenommen wird (vergl. auch S. 56 oben). Sie sollten stets als untüchtig angesehen werden.

4. Weiß — Weiß, hat die gleiche, lediglich vorbereitende Bedeutung für die nächste Einstellung, wie die Einstellung No. 2. Beide Felder werden natürlich von allen „Farbenblinden" usw. gleich gesehen.

5. **Bläulichgrün—Weiß.** Das grüne Feld wird maximal hell gemacht, das weiße leicht verdunkelt und versucht, ob eine Gleichung zu erzielen ist. Wie bereits erwähnt ist, entspricht das „Eisenbahngrün" annähernd der „neutralen Stelle" der Rotgrünblinden, d. h. sie sehen es etwa farblos (genauer leicht bläulich). Ebenso ist es auch für die anomalen Trichromaten erfahrungsgemäß ein sehr unangenehmes Glas, sie sehen es ebenfalls annähernd so, wie das weiße Glas des Apparates, selbst anomale Trichromaten, deren Farbenschwäche nur geringgradig ist.

Der Normale — selbst bei 1—2 mm Seitenlänge der Felder — unterscheidet Grün und Weiß bei dieser Einstellung stets mühelos und prompt. Der Farbenblinde wie ein großer Teil der anomalen Trichromaten bekommen dagegen eine Gleichung, sie sehen beide Felder bei bestimmter Schieberstellung des weißen Feldes gleich. Es ist die einzige aber beweisende „Gleichung", welche für die anomalen Trichromaten an dem Apparat zu erhalten ist[1]). Ein Teil der letzteren erhält allerdings auch hierbei keine Gleichung, sondern nennt infolge Kontrastes die Felder grünlich-rötlich.

Da das bläuliche grüne Glas gleichzeitig zufällig das Signalgrün bei der Eisenbahn ist, kann man auf diese Weise Skeptikern gleich die Unbrauchbarkeit der Anomalen für den Eisenbahndienst beweisen. Denn wer auf 1 m Entfernung ein grünes helles Licht von 1 cm Seitenlänge nicht von einem weißen unterscheiden kann, wird wohl von jedem für farbenuntüchtig gehalten werden.

Wird bei den beiden diagnostisch wichtisten Haupteinstellungen 3 und 5 keine Gleichung erzielt, so wiederholt man die Einstellungen 2—5 mit verkleinertem Objektfeld (2 mm Seitenlänge).

Werden auch dann keine Gleichungen erhalten, und tritt bei der Rot-Gelb-Gleichung auch keine Kontrasterscheinung auf (s. u.), so ist kein Anhalt für Farbenuntüchtigkeit vorhanden.

---

[1]) Vielleicht gelingt es noch, die Farbe der Gläser so zu ändern, daß die Grün-Weiß-Gleichung von nahezu allen Anomalen angenommen wird.

Nochmalige tabellarische Übersicht über den Gang der Untersuchungen auf Farbenschwäche.

(Objektgröße anfangs 5 mm, absteigend bis 2 mm.)
(Entfernung des Beobachters vom Apparat 1 m.)

Art der **Fragen** an den zu Prüfenden	Einstellung der Farben (zugleich Angeben des **Normalen)**	Verhalten der **Rotgrünblinden** (Protanopen und Deuteranopen)	Verhalten der **Farbenschwachen**
Welche Farben sehen Sie hier ?	1. dunkelrot-hellrot.	es werden meist verschiedene Farben genannt, Rot-grün, Rotgelb usw.	hochgradig Anomale sagen zuweilen grünrot, meist wie der Normale.
Sind beide Felder gleich (-farbig und -hell)?	2. hellrot-hellrot, beide Seiten gleich.	beide Seiten gleich.	beide Seiten gleich.
,,	3. hellrot-gelb, dabei Helligkeit d. gelben Feldes allmählig verringern.	beide Seiten gleich (bei bestimmter Helligkeit d. Gelb, je nachdem Protanopen od. Deuteranopen)	beide Seiten verschieden (mit wenigen Ausnahmen). Meist Angaben: rotgrün.
,,	4. weiß - weiß, beide Seiten gleich.	beide Seiten gleich.	beide Seiten gleich.
,,	5. bläulichgrün-weiß (Helligkeit des Weiß verringern und dabei ausprobieren).	beide Seiten gleich (bei bestimmter Helligkeit des Weiß).	z. T. beide Seiten gleich (bei bestimmter Helligkeit des Weiß), z. T. auch grün-rötlich.

Anmerkung. Es empfiehlt sich, die Beobachter vor der Untersuchung besonders darauf aufmerksam zu machen, daß es bei der „Gleichheit" der beiden farbigen Felder nur auf die Farbe und Helligkeit ankommt, nicht auf die Größe der Felder. Zuweilen wird die Anforderung nämlich mißverstanden, die Beobachter sagen: „beide Seiten sind gleich", meinen jedoch gleich groß, während sie die beiden Farben ebenso unterscheiden wie der Normale.

Anhang.

Diagnose der Blaugelbblindheit (Tritanopie).

Die bei der „Farbenuntüchtigkeit" in erster Linie genannten Prüfungsmethoden (Nagels Tafeln, Farbengleichungslampe, Rayleighgleichung am Anomaloskop) versagen bei der Blaugelbblindheit vollkommen, sie werden fast durchgehend bestanden.

Die Diagnose der Blaugelbblindheit ist überhaupt nicht so leicht wie die der Rotgrünblindheit, schon aus dem einfachen Grunde,

weil ihr die langen „Endstrecken" im Spektrum fehlen (vergl. S. 48), und weil daher die Zahl der auffälligen Verwechselungsfarben eine wesentlich geringere ist. Stets wird es empfehlenswert sein, mehrere Methoden zur Kontrolle anzuwenden und sich niemals auf eine einzelne zu beschränken.

Von den gebräuchlichen Proben sind am ehesten die Stillingschen Tafeln zu verwerten, die einige Zahlen in Verwechselungsfarben der Blaugelbblinden führen (bei der 12. Auflage z. B. grüne Tupfen zwischen blauen, sowie bläulichrote zwischen gelbroten).

2. In ähnlicher Weise kann auch bei den Holmgreenschen Wollproben das Sortieren von blauroten und gelbroten Bündeln versucht werden.

3. An der Farbengleichungslampe versuche man Gleichungseinstellungen zwischen dem bläulich-grünen Glas und dem blauen. Der Blaugelbblinde wird beide annähernd gleich (grün) sehen, natürlich nachdem beide Felder helligkeitsgleich gemacht worden sind, was durch erhebliche Verdunkelung des Grün (Schieberverstellung!) erreicht wird.

4. Eine Anzahl farbiger Papiere in verschiedenen Farbentönen[1]) lasse man in kleinen Quadraten benennen und achte auf Fehler und Unsicherheiten bei den gelben und blauen Tönen.

Vollkommene Sicherheit wird man stets nur durch Untersuchung mit spektralen Mischungsgleichungen an einem für derartige Untersuchungen gebräuchlichen größeren Spektralapparat oder am Heringschen Apparat (s. später) erhalten.

Für abgekürzte Untersuchungen empfiehlt es sich hier, besonders zu versuchen, ob der Beobachter zwischen Gelb einerseits und einem bestimmten Rotblaugemisch andererseits eine „Gleichung" bekommt. Natürlich muß dabei die Helligkeit der beiden Felder verändert und ausprobiert werden, ebenso das Mischungsverhältnis Rot-Blau; denn sowie letzteres etwas zu rötlich oder zu bläulich ist, sieht auch ein Gelbblaublinder beide Felder nicht gleich und kann somit durchschlüpfen.

Sieht der Gelbblaublinde z. B. ein spektrales Grüngelb und das Rotblaugemisch völlig gleich, so erscheint letzteres dem Normalen Lilarosa (ungesättigtes Rotviolett). Sicherheitshalber wiederholt man diese Gleichungen mit einem Rotblaugemisch auch für Orange und Gelbgrün. Außerdem kann man noch eine Gleichung zwischen homogenem Blaugrün und Blau anschließen.

Auch am Farbenkreisel lassen sich derartige Mischungsgleichungen mit entsprechend gefärbten Papierscheiben herstellen und diagnostisch verwenden. Die Helligkeit reguliert man dabei durch Hinzufügen eines schwarzen Sektors.

Diagnose der typischen totalen Farbenblindheit.

Der Nachweis der Farbenuntüchtigkeit gelingt sofort und leicht mit Hülfe der gebräuchlichen Proben (s. oben). Für Schnelluntersuchungen auf totale Farbenblindheit in Fällen, wo die

charakteristischen klinischen Begleiterscheinungen (S. 34) daran denken lassen, eignet sich sehr gut der Farbengleichungsapparat (S. 80); man stellt hier dem Patienten blau und rot nebeneinander ein. Bei einem bestimmten Helligkeitsverhältnis sieht der Totalfarbenblinde beide Felder gleich (der Rotgrünblinde niemals!). Für genauere Untersuchungen und besonders Demonstrationen ist der Farbenkreisel empfehlenswert.

Man setzt nacheinander verschiedenfarbige Scheiben auf den Kreisel und vergleicht sie mit einer grauen Scheibe, die aus einem schwarzen und einem weißen Sektor besteht, welche sich in der Größe verändern lassen. Es ergeben sich etwa folgende Zahlen für die Größe dieser Sektoren (Fall von Grunert):

[Heringsche Papiere[1])]

360°	Purpur	=	20° Weiß	+	340° Schwarz	
„	Rot	=	6° „	+	854° „	
„	Orange	=	39° „	+	321° „	
„	Gelb	=	155° „	+	205° „	
„	Gelbgrün	=	148½° „	+	211½° „	
„	Hellgrün	=	191½° „	+	168½°	(erscheint am Hellsten)
„	Blaugrün	=	179½° „	+	181° „	
„	Himmelblau	=	116° „	+	244° „	
„	Blau	=	64° „	+	296° „	
„	Violett	=	42° „	+	318° „	

Auf diese Weise gelingt es leicht, die Helligkeitsverteilung über das Spektrum anschaulich zu machen (hellste Stelle im Grün = größter Weißzusatz auf dem Kreisel).

Prognose und Therapie der Farbenuntüchtigkeit.

Diese Überschrift mag wohl Kopfschütteln erregen, denn die Farbenblindheit und -schwäche ist bekanntlich unheilbar[2]). Trotzdem hört man nicht selten von Farbenblinden, daß sich ihr Farbensinn gebessert habe. Während sie früher bestimmte Gegenstände nicht unterschieden hätten, ginge das jetzt ganz gut usw. Es handelt sich dann nur um die Tatsache, daß die Betreffenden allmählich auf einem bestimmten Gebiete im praktischen Leben Erfahrungen gesammelt haben, bestimmte Hülfen, welche sie sich bei der Beurteilung der Farben zu Nutze machen, sodaß sie nun weniger Verwechselungen begehen wie früher. Ein farbenblinder Eisenbahner wird auf seiner bekannten Strecke rote und grüne Lichter meist unterscheiden, zumal wenn er weiß, daß es nur rot oder grün sein kann (s. früher); setzt man ihn plötzlich auf ein fahrendes Schiff, womöglich in der Nähe eines Hafens, so wird er nicht mehr orientiert sein. In jedem Falle genügt aber eine Nachprüfung mit einwandfreien Methoden, um zu zeigen, daß die Störung nach wie vor unvermindert

[1]) erhältlich bei Rich. Nendel, Verlagshandlung, Leipzig.

[2]) Ob nicht leichte funktionelle Schwankungen im Grade der Farbenschwäche vorkommen können, ist noch nicht genügend untersucht.

fortbesteht. Deswegen kann von einer Heilung der Farbenblindheit natürlich auch keine Rede sein.

Aber man kann den Farbenschwachen und -blinden „Hülfen' an die Hand geben, um ihnen die Unterscheidung wenigstens im täglichen Leben etwas zu erleichtern. Das gilt z. B. für farbenblinde Ärzte. (Für Eisenbahn und Marine bleiben die Untüchtigen nach wie vor unbrauchbar!) Diese Hülfen bestehen darin, daß man physikalisch die Zusammensetzung der gemischten Lichter im Leben ändert, z. B. durch Wechseln der Beleuchtung. Manche Farben, welche der Farbenschwache bei Tageslicht nicht unterscheidet, sieht er deutlich bei gelblichem, künstlichem Licht. Zieht man daraus die Nutzanwendung, so kann man sich unter Umständen z. B. bei der Methylviolettprobe bei der Magensaftuntersuchung dadurch helfen, daß man nicht bei Tageslicht untersucht, sondern ein Streichholz hinter das Reagensglas hält. Der Unterschied zwischen Violett und Blau wird sofort viel deutlicher.

Fordert man ferner einen Farbenblinden auf, aus einer Tafel der Nagelschen Probe, welche rosa und grüne Punkte enthält, die ersteren herauszuzählen, so gelingt dies nicht. Läßt man ihn aber durch ein rotes Glas sehen, wie es zu Doppelbilderprüfungen benutzt wird, so kann er sofort mit großer Sicherheit sehen, was Rot ist, denn alle rosa Punkte sind jetzt auffallend hell geworden gegenüber den grauen und grünen. Steckt der Farbenblinde ein rotes Glas zu sich, so wird er im Zweifelfalle manche Unterscheidung auch ungesättigter Farben damit treffen, die ihm sonst Schwierigkeiten bereiten würden. Mit solchen kleinen Ratschlägen kann man zuweilen viel Dankbarkeit ernten. Übrigens finden wohl viele Farbenschwache den Einfluß der Beleuchtung und die Nutzanwendung von selbst heraus.

Die Farbensinntheorien.

Eine ausführliche Würdigung der zahlreichen Theorien, die über den Farbensinn veröffentlicht worden sind, muß den physiologischen Handbüchern vorbehalten bleiben. Eine derartige Aufgabe würde nicht nur den bescheidenen Rahmen dieser Schrift erheblich übersteigen, sondern es lassen auch die bisherigen Tatsachen, welche für das normale Farbensehen und die angeborenen Störungen bekannt geworden sind, eine gewisse Zurückhaltung noch wünschenswert erscheinen.

Der Wunsch, sich an der Hand leichtverständlicher Theorien den Vorgang klar zu machen, in welcher Weise die Lichtstrahlen

das Farbensehen auslösen, ist begreiflich. Als Angriffspunkte für derartige theoretische Überlegungen treten von vornherein gewisse auffällige Tatsachen beim Farbensehen hervor, wie der Farbenkontrast, das Gegensätzliche zwischen je zwei Farben, das sich z. B. bei den Nachbildern äußert u. a. m. Nicht zum wenigsten sind es außerdem die Gesetze, die sich bei der Lichtmischung ergeben haben.

Denn trotz der großen Zahl der überhaupt möglichen Farbenqualitäten zeigt sich oben, daß physikalisch ganz verschiedene Lichtreize, z. B. homogene Lichter und Lichtgemische, die völlig gleiche Farbenempfindung (bezw. Sehqualität) hervorrufen können, und daß sich diese Vorgänge gleichsam in gesetzmäßiger Weise vollziehen.

So gelangt man sehr bald zu der Vorstellung, daß das Licht in unserem Sehorgane direkt eine nur kleine Zahl ganz bestimmter Erregungsvorgänge (oder Teilerregungen) auslöst; erst deren Wirksamkeit oder Zusammenarbeiten führt dann ihrerseits das eigentliche Farbensehen herbei.

Die Qualität der gesehenen Farbe, ob Rot, Grün usw. hängt dann nur noch ab von dem Verhältnisse, in welchem die hypothetischen Teilerregungen sich zueinander an dem Sehakte beteiligen, bezw. von dem Grade, in dem das geschieht.

Damit ist die Vorstellung, die man sich von dem Farbensinn macht, bereits wesentlich vereinfacht, denn wir brauchen nun nicht mehr mit der großen Zahl der verschiedenen Lichtreize — man denke an die große Zahl der verschiedenen homogenen Lichter und die Mischungsmöglichkeiten — zu operieren, sondern wir arbeiten bei unseren weiteren Überlegungen nur noch mit einigen wenigen Erregungsvorgängen im Sehorgan. Diese werden im allgemeinen als „K o m p o n e n t e n" des Farbensinnes bezeichnet. Sie stellen zunächst nur durchaus abstrakte Begriffe dar, ohne daß man mit ihnen bestimmte anatomische Vorstellungen verbindet, sie etwa mit einzelnen Teilen der Netzhaut wie Zapfen und Stäbchen identifiziert.

Wieviel derartige Komponenten nun angenommen werden müßten? Der Einfachheit der Vorstellung wegen nicht mehr, als hinreichend sind, um alle Tatsachen des Farbensehens, besonders der Farbenmischungserscheinungen zu erklären.

Legt man die Ergebnisse der Lichtmischung zu Grunde, so kann man 3 Komponenten für den normalen Farbensinn als ausreichend erachten, ähnlich wie bei der Farbenphotographie drei Komponenten (Grün, Rot, Violett) genügen, um die Farbenwirkungen voll zur Geltung zu bringen. Denn es ist bereits früher darauf

hingewiesen worden, daß für den Normalen die Mischung dreier passend ausgewählter Lichter genügt, um alle Farbenempfindungen[1]) auszulösen (trichromatisches Farbensystem, S. 17).

Die funktionelle Wirkungsweise der drei derartigen Komponenten hätte man sich dann so vorzustellen, daß sie im Sehorgan parallel — bezw. nebeneinander — geschaltet sind, ähnlich wie die verschiedenfarbigen Stärkekörnchen auf den Platten gewisser Systeme, um im Vergleich mit der Farbenphotographie zu bleiben; natürlich sollen ähnliche materielle Begriffe nicht etwa auch für die Komponenten des Farbensystems gelten.

Trifft dann irgend ein homogenes Licht das Sehorgan, so werden von ihm sämtliche drei Komponenten in Tätigkeit gesetzt, nur in verschiedenen Graden.

Die Young-Helmholtzsche Farbentheorie.

Auf der Annahme dreier derartiger Komponenten beruht die Farbentheorie, welche Young[2]) angegeben hatte, und die später Helmholtz zu seiner bekannten 3-Komponententheorie ausbaute.

Diese 3 Komponenten setzen nach der Young-Helmhotzschen Theorie die peripheren Endorgane des Sehapparates zusammen. Ihre Funktion gestaltet sich etwa folgendermaßen. Geht man wiederum von dem farbigen Spektrum aus, so wird die erste Komponente am stärksten durch langwelliges (rotes) Licht erregt, schwächer durch die übrigen Lichter des Spektrums. Ihre isolierte Tätigkeit würde eine gesättigte Rotempfindung auslösen, sie wird daher als Rotkomponente bezeichnet. In ähnlicher Weise wird die zweite Komponente am stärksten durch mittelwellige (grüne) Lichter, schwächer durch die übrigen Lichter des Spektrums erregt, ihre isolierte Tätigkeit würde zu einer gesättigten Grünempfindung führen, daher spricht man von einer Grünkomponente. Schließlich wird die dritte Komponente am stärksten durch kurzwelliges (blau-violettes) Licht erregt, sie ruft eine gesättigte Blau-(-violett)empfindung hervor, daher Blaukomponente.

---

[1]) Nicht in jeder Sättigungsabstufung.

[2]) Thomas Young wurde 1773 in England geboren und starb 1829 Seine Schrift über die Farbensinntheorie lautet: on the theory of light and colours. From the philosoph. Transactions 1802, p. 12. Abgedruckt in Lectures, Vol. II, p. 613—670. Näheres über Young s. Hirschberg, Geschichte der Augenheilkunde, Graefe-Saemisch, Handbuch II. Aufl. Bd. 14, S. 439.

Jede der drei Komponenten wird also durch sämtliche homogene Lichter des Spektrums in Tätigkeit versetzt, nur hat jede einzelne für die verschiedenen Lichter verschiedene, ganz charakteristische Empfindlichkeit. In graphischer Darstellung haben demnach die Komponenten die Gestalt der nebenstehenden Figur 15, wenn man auf der Abszisse die Reihe der homogenen Lichter des Spektrums, als Ordinaten die relative Erregbarkeit der Komponenten durch diese Lichter skizziert.

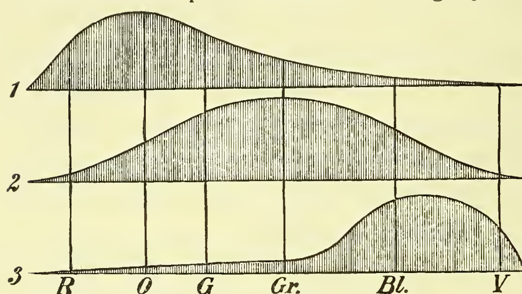


Fig. 15.
Die 3 hypothetischen Komponenten des normalen Farbensinnes (aus v. Helmholtz, Physiologische Optik). 1 = Rot-, 2 = Grün-, 3 = Blau-Komponente.

Die Funktion dieser Komponenten ist, wie man sieht, als eine einsinnige gedacht, d. h. sie erstreckt sich aus dem Zustande der Ruhe zu mehr oder weniger hohem Tätigkeitsgrade. Diese Art der Wirkung entsprach den früheren allgemein nervenphysiologischen Vorstellungen.

Die Art, wie die Farbenempfindungen im einzelnen zustandekommen sollten, war nun sehr einfach. Es ist schon erwähnt worden, daß die isolierte Tätigkeit jeder einzelnen Komponente eine sehr gesättigte Rot-, Grün- bezw. Blau-, Violett-Empfindung auslöst.

Die drei Elementar- oder Urfarben gab Helmholtz zuletzt[1]) nach seinen bezw. Königs Berechnungen folgendermaßen an: Das Urrot stellt etwa ein gesättigtes Karminrot dar, war also im Spektrum nicht enthalten, vielmehr wurde das Spektralrot als eine gelbliche, weniger gesättigte Modifikation angesehen. Das Urgrün war ein etwas gelbliches Grün, etwa der Vegetation entsprechend (ca. 540—560 $\mu\mu$ im Spektrum). Das Urblau wurde dem Ultramarin im Farbenton verglichen. Violett war eine weißrötliche Abänderung der blauen Urfarbe.

Sämtliche Farbenempfindungen werden aber in Wirklichkeit stets durch gleichzeitige Tätigkeit aller 3 Komponenten hervorgerufen. So resultiert bei gleichstarker Erregung aller dreier Komponenten die Empfindung Weiß; dem Zustand der Ruhe der Komponenten dagegen entspricht die Schwarzempfindung. Aus der obigen Skizze (Fig. 15) zeigt sich, in welcher Weise ein homogenes Licht, z. B. Gelb auf die Komponenten wirkt, nämlich annähernd gleich stark auf die Rot- und Grünkomponente, schwach auf die Blaukomponente. Diese Gesamttätigkeit der Komponenten führt

[1]) Helmholtz, Physiologische Optik, II. Aufl. S. 456.

zu der Empfindung Gelb (man wird sofort an die Lichtmischung erinnert, besonders an die Rayleighgleichung, bei der durch Mischung von homogenem roten und grünen Licht die Empfindung Gelb erzielt wird). Die Rotempfindung kommt dadurch zu stande, daß stark die Rotkomponente erregt wird, die beiden anderen so schwach, daß ihre Tätigkeit nur unwesentlich die Empfindung beeinflußt usw.

Die Grundbegriffe der Theorie besitzen demnach eine rein physiologische, keine psychologische Bedeutung (v. Kries).

Keine besondere Bedeutung für die Theorie hat die konkrete Gestalt, in die sie zur Erleichterung des Verständnisses gekleidet worden ist, und die auch nach Helmholtz für das Wesen der Theorie nicht notwendig ist. Helmholtz selbst[1]) trägt die Theorie folgendermaßen vor. In dem Endorgan der Sehnervenfasern in der Netzhaut sind dreierlei photochemische Substanzen abgelagert, welche entsprechend den 3 Komponenten für die verschiedenen Teile des Spektrums verschiedene Empfindlichkeit haben. Durch die Zersetzung der Substanz wird die mit dem Endorgan verbundene Nervenfaser in Tätigkeit versetzt. So entsprechen den drei Substanzen auch drei Fasersysteme, die im Hirn wiederum mit 3 verschieden funktionierenden Systemen von Ganglienzellen in Verbindung stehen. In ähnlicher Weise ist die Theorie auch von Young zuerst erörtert worden.

Ob man Einwände gegen diese Art der handgreiflichen Darstellung der Theorie erhebt und z. B. das Vorhandensein dreier getrennter Nervenfaser- bezw. Ganglienzellensysteme leugnet oder nicht, jedenfalls wird dadurch das Wesen der Theorie nicht widerlegt.

Die Tatsachen der Lichtmischung werden durch die Theorie in befriedigender Weise erklärt, ebenso das Wesen der verschiedenen Formen der angeborenen partiellen Farbenblindheit, Protanopie, Deuteranopie und Tritanopie. Wie bei den Aichwertkurven (S. 39) kann man sich vorstellen, daß bei der Protanopie die erste (Rot-) Komponente fehlt (daher der Name Rotblindheit[2]), bei der Deuteranopie die zweite (Grün-) Komponente (daher Grünblindheit), bei der Tritanopie endlich die dritte (Blau-) Komponente (daher Blau- bezw. Violettblindheit). Die betreffende Komponente könnte entweder ganz fehlen oder es könnte z. B. bei der Protanopie die Rotkomponente mit der Grünkomponente identisch geworden sein, bei der Deuteranopie natürlich umgekehrt.

---

[1]) Physiologische Optik, II. Aufl. S. 349.

[2]) Über die Unzweckmäßigkeit der Ausdrücke Rot- und Grünblindheit ist bereits gesprochen worden.

Die anomalen Trichromaten mit ihren verschiedenen Graden kann man sich dann weiterhin so klarmachen, daß die Grünkomponente der Rotkomponente ähnlicher geworden, also gewissermaßen ihr nähergerückt wäre, vergl. Figur 16. (Das würde nur für die Deuteranomalen gelten, für die Protanomalen wäre es umgekehrt)[1]).

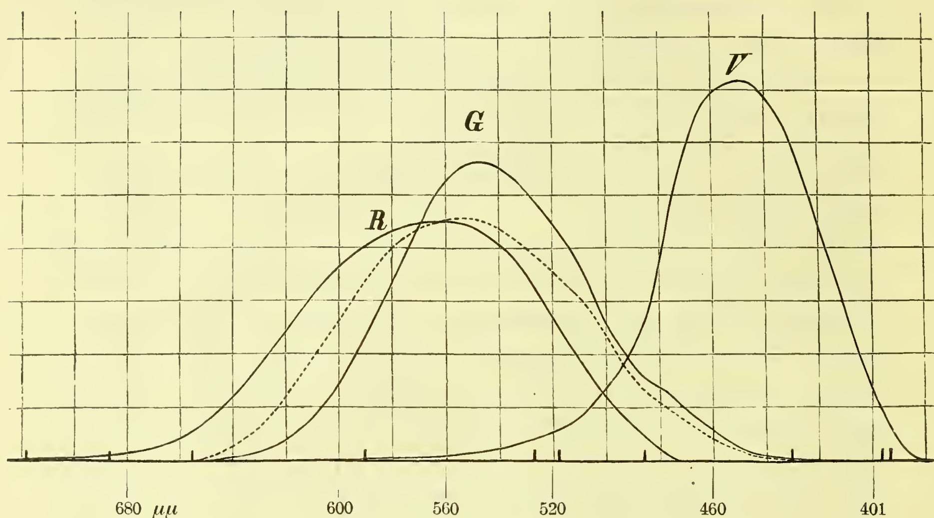


Fig. 16.

R, G, V = die Rot-, Grün- und Blauviolettkomponente nach der Young-Helmholtzschen Theorie. Die punktierte Kurve würde der veränderten Lage der Grünkomponente bei den deuteranomalen Systemen entsprechen (nach v. Helmholtz, Physiolog. Optik).

Der Unterschied der beiden Formen der angeborenen Rotgrünblindheit Protanopie und Deuteranopie erstreckt sich ja nun nicht nur auf das foveale Sehen, sondern auch auf das farblose Sehen beider Formen in der sog. totalfarbenblinden Zone der Gesichtsfeldperipherie (v. Kries). Auch hier ist die Helligkeitsverteilung über das Spektrum bei der Protanopie verschieden von derjenigen bei der Deuteranopie. Bei ersterer besteht der charakteristische geringe Reizwert langwelliger Lichter auch in der Peripherie fort. Auch diese Erscheinung würde in der Theorie von Young-Helmholtz ihre Erklärung finden.

Der Grundgedanke der Theorie, die Gliederung des Farbensystems in 3 Komponenten ließe sich nun wohl für die peripheren direkt vom Licht erregbaren Teile der Sehbahn zwanglos aufrecht erhalten; bedenklicher ist jedoch die Durchführung für den gesamten Farbensinn (vergl. v. Kries). So ist es schwer zu erklären z. B., warum die Protanopen und Deuteranopen nach der Helmholtzschen Theorie, also Rotblinde und Grünblinde, nun beide nur Gelb und Blau sehen, wie wir doch wohl annehmen müssen.

---

[1]) Näheres siehe v. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik, II. Aufl.

Die Analyse der erworbenen Farbensinnstörungen hat es ferner sehr unwahrscheinlich gemacht, daß die isolierte Tätigkeit nur einer Komponente wirklich zu einer entsprechend farbigen (Rot-, Grün- bezw. Blau-) Empfindung führt. Wahrscheinlich würde in diesem Fall vielmehr eine farblose Empfindung Schwarz-Weiß eintreten.

Überhaupt ist es sehr fraglich, ob zu dem Zustandekommen der Weißempfindung immer ein bestimmter Erregungszustand aller dreier Komponenten erforderlich ist, ebenso, ob wirklich die Empfindung Schwarz einer Erregungs-Ruhe entspricht. Befremdend wirkt für viele auch der Umstand, daß die 3 Komponenten Rot, Grün und Blau-Violett eine physiologische Sonderstellung einnehmen, während doch die zugehörigen Empfindungen psychologisch nichts besonderes an sich haben. Näher kann hier nicht auf diese Fragen eingegangen werden, ebensowenig, inwieweit sich hier auf dem Wege von Hülfshypothesen eine befriedigende Erklärung schaffen ließe.

Herings Theorie der Gegenfarben.

Die Bedenken, welche gegen die Helmholtzsche Theorie erhoben werden können, vermied Hering in seiner Theorie. Er ging umgekehrt vor, indem er von der psychologischen Betrachtung der Farbenempfindungen ausging und von hier aus Rückschlüsse auf die physiologischen Vorgänge zog. Besonders berücksichtigte Hering die Sonderstellung, welche die vier Farben Rot, Grün, Blau, Gelb unter gewissen Verhältnissen gegenüber den übrigen Farben einnehmen (z. B. periphere Farbenblindheit), sowie das gegensätzliche Verhalten, welches je 2 dieser 4 Farben, sowie auch Schwarz und Weiß besitzen.

In diesem Sinne setzt sich nach Hering die Sehsubstanz aus drei verschiedenen Substanzen zusammen, innerhalb deren sich jedoch keine einsinnigen, sondern Vorgänge entgegengesetzter Art abspielen, die man als Zertrümmerungsprozesse (dissimilatorische, D-Prozesse) und Ersatzvorgänge (assimilatorische, A-Prozesse) ansehen kann. Diese drei Substanzen werden gewöhnlich als Schwarz-Weiß-Substanz, Rot-Grün-Substanz und Gelb-Blau-Substanz bezeichnet. Jede dieser drei Substanzen kann unabhängig von den anderen innerhalb gewisser Grenzen verbraucht werden bezw. sich wieder ersetzen.

Die Dissimilierung der Schwarz-Weiß-Substanz ruft die Empfindung Weiß hervor, ihre Assimilierung wird als Schwarz empfunden. Ähnlich ruft die Zersetzung (D-Prozeß) der Rot-Grün-Substanz die Empfindung Rot, ihre Wiederherstellung die Empfin-

dung Grün hervor. Durch Verbrauch der Blau-Gelb-Substanz entsteht die Gelb-, durch ihre Assimilierung die Blauempfindung.

Man sieht, bei der Heringschen Theorie sind Rot und Grün, Blau und Gelb Antagonisten.

Geht man auch hier wieder vom Spektrum aus, so wirken zunächst sämtliche Lichter dissimilierend auf die Schwarz-Weiß-Substanz, nur in verschiedenem Grade. Auf die Rot-Grün-Substanz und Blau-Gelb-Substanz wirkt ein Teil des Spektrums dissimilierend, ein anderer assimilierend. So z. B. wirkt auf die Blau-Gelb-Substanz die langwellige Hälfte dissimilierend (Empfindung Gelb), die kurzwellige assimilierend (Empfindung Blau). Da jedes spektrale Licht ohne Ausnahme also die Schwarz-Weiß-Substanz dissimiliert neben ihrer Wirkung auf die beiden anderen Substanzen, kann man auch sagen, daß den verschiedenen Lichtern neben den „farbigen Valenzen" gleichzeitig eine „Weißvalenz" zukommt.

Bei einer farblosen Empfindung besteht Gleichgewicht zwischen D- und A-Prozessen in der Rot-Grün- und Gelb-Blau-Substanz.

Die Ergebnisse der Lichtmischung lassen sich ebensogut mit der Heringschen Theorie erklären.

Besonders leicht verständlich erscheint nach dieser Auffassung das gegensätzliche Verhalten, das beim peripheren Sehen in der rotgrünblinden Zone besteht. Bekanntlich werden hier nur noch 2 Farbentöne, Gelb und Blau, und ihre Variationen nach Weiß und Schwarz (ihre Sättigungs- bezw. Helligkeitsabstufungen) unterschieden. Dieses Sehen würde einer Tätigkeit nur noch der Gelb-Blau-, sowie Weiß-Schwarz-Substanz entsprechen.

Die verschiedenen Formen der Farbenblindheit erklären sich auf folgende Weise. Bei der totalen Farbenblindheit fehlt die Rot-Grün- und Blau-Gelbsubstanz völlig; es bleibt nur noch die Tätigkeit der Schwarz-Weiß-Substanz, welche die farblose Empfindung bedingt. Fehlt nur die Rot-Grün-Substanz, so liegt die angeborene Rotgrünblindheit vor, deren Sehweise dann durch die Tätigkeit der Blau-Gelb-Substanz neben der Schwarz-Weiß-Substanz bestritten wird. Umgekehrt fehlt bei der Blaugelbblindheit (Tritanopie) die Blau-Gelb-Substanz.

So ist die Sehweise bei der Farbenblindheit in der Tat sehr leicht verständlich und die Heringsche Theorie hat sich nicht zum wenigsten dadurch gerade unter den Praktikern viel Freunde erworben.

Dagegen macht die Erklärung der beiden Formen der Rotgrünblindheit, Protanopie und Deuteranopie, mit Hülfe der Gegenfarbentheorie Schwierigkeiten. Die scharf charakterisierten Unter-

schiede zwischen beiden, die sich bis auf das farblose Sehen in der Peripherie erstrecken, lassen sich kaum durch einfache individuelle Verschiedenheiten, z. B. in der Makulapigmentierung usw., erklären.

Einen Abänderungsversuch der Heringschen Gegenfarbentheorie zwecks Erklärung der Protanopie und Deuteranopie hat Mauthner (5) unternommen.

Auch einen psychologischen Einwand hat v. Kries erhoben, nämlich daß die Gegensätzlichkeit der Farben in der Schwarz-Weiß-Reihe eine andere ist, wie in der Rot-Grün- und Gelb-Blau-Reihe. Bei den letzteren besteht zwar ein ausgesprochener 0-Punkt, der weder Rot noch Grün ist; bei der Schwarz-Weiß-Reihe gibt es jedoch kein dazwischenliegendes Grau, das weder als nach Weiß oder Schwarz neigend angesprochen werden kann.

v. Kries' Zonentheorie.

Sieht man von der spezielleren Durchführung der psychologischen 3-Komponententheorie Young-Helmholtz und der physiologischen Gegenfarbentheorie für den ganzen Ablauf des Farbensehens ab und hält sich nur an die allgemeinen Grundvorstellungen, so ist die Berechtigung beider Theorien unbestreitbar.

Eine Vereinigung beider Theorien gleichsam stellen die Überlegungen Donders und v. Kries dar. Auf diese Weise wird der Versuch gemacht, die Schwierigkeiten, welche die beiden Theorien darbieten, zu umgehen.

Mit Rücksicht darauf, daß die physiologische 3-Komponenten-Theorie gerade für die peripheren, direkt vom Licht erregten Teile des Sehorganes eine gewisse Wahrscheinlichkeit besitzt, während umgekehrt die psychologischen Grundgedanken der Heringschen Gegenfarbentheorie auf zerebrale Vorgänge deutet, nimmt Donders und v. Kries an, daß das Sehorgan viel komplizierter aufgebaut ist und demnach überhaupt keine einheitliche Komponentengliederung aufweist.

Vielmehr sind die einzelnen Abschnitte der Sehbahn (Zonen) verschieden aufgebaut. Die peripheren Abschnitte kann man sich aus drei verschiedenen Komponenten aufgebaut denken, die in ihrer Wirkungsweise etwa den Young-Helmholtzschen Komponenten entsprechen mögen.

Dagegen sind die zentralen Abschnitte der Sehbahn im Sinne der Gegenfarbentheorie gegliedert, sodaß man, abgesehen von dem farblosen Schwarzweißsehen, einen Rot-Grün- und Gelb-Blausinn unterscheiden kann.

In welcher Weise man sich diese abstrakten Begriffe im einzelnen mit materiellen Prozessen verknüpft bezw. an photochemische Substanzen gebunden denkt, ist auch hier wieder für den Grundgedanken der Theorie ohne Bedeutung.

Die Wirkungsweise des Lichtes auf das Sehorgan würde man sich so vorstellen, daß zunächst die peripheren 3 Komponenten in Erregungszustand versetzt werden. Je nach der verschiedenen Tätigkeit und dem Zusammenwirken der drei Komponenten kombinieren sich diese Erregungsvorgänge in verschiedener Weise und werden nach dem Zentralorgan emporgeleitet. Hier werden sie gleichsam umgeschaltet und lösen nun entsprechend dem Rot-Grün-, Gelb-Blausinn usw. die verschiedenen Farbenempfindungen aus.

Eine isolierte Tätigkeit einer peripheren Komponente braucht darnach nicht mehr eine gesättigte Farbenempfindung Rot, Grün oder Violett-Blau hervorzurufen, sondern kann in verschiedener Weise mit den zentralen Vorgängen in Verbindung treten.

So kann man sich vorstellen, daß eine Komponente zentral zwei verschiedene Prozesse gleichzeitig auslösen, d. h. auf den Gelb-Blau-, und Rot-Grünsinn einwirken kann.

Vielleicht wirkt auch die isolierte Erregung einer jeden einzelnen Komponente nur auf den Schwarz-Weiß-Sinn, während die Kombination der Erregungen zweier Komponenten auch noch auf den Blau-Gelb-Sinn (bezw. auch den Rotgrün-Sinn) einwirkt. Nur die Erregung aller dreier peripheren Komponenten übt eine Wirkung auf sämtliche zentralen Vorgänge aus.

Die Formen der angeborenen partiellen Farbenblindheit (Protanopie, Deuteranopie sowie Tritanopie) ließen sich auf diese Weise nach wie vor durch Ausfall einer der drei peripheren Komponenten erklären, würden somit Störungen der peripheren (retinalen) Teile der Sehbahn darstellen. Die vereinfachten (reduzierten) Reize, welche das Zentralorgan auf diese Weise bei der Farbenblindheit von den peripheren Endorganen empfängt, lösen dann das veränderte Farbensehen als Rotgrünblindheit usw. im Sinne der Gegenfarben aus.

Die Abnahme der Farbenempfindung nach der Peripherie des Gesichtsfeldes hin würde dagegen sich durch die Abnahme des zentralen Rot-Grün-, bei höheren Graden auch Gelb-Blau-Sinnes erklären lassen. Wir werden später sehen, in welcher Weise sich die erworbenen Störungen des Farbensinnes mit der Zonentheorie im Einklang befinden.

In der hier wiedergegebenen Weise ist die Zonentheorie recht unbestimmt gehalten. Im wesentlichen ist dabei das Bestreben v. Kries ersichtlich, die Physiologie des Sehorganes und die Psychologie des Gesichtssinnes auseinanderzuhalten, da beide zwar in engen Beziehungen stehen, sich jedoch nicht decken. Wo und in welcher Weise die Umgruppierung der 3 peripheren Komponenten in die zentrale Gliederung erfolgt, soll noch dahingestellt bleiben.

Es existieren noch eine Anzahl verschiedener Theorien, welche das Bestreben haben, die anscheinenden Gegensätze zwischen der ursprünglichen Young-Helmholtzschen und der Heringschen Theorie zu mildern, bezw. die Theorien den Tatsachen mehr anzupassen; es würde zu weit führen, näher darauf einzugehen. Sie beschäftigen sich meist mit der Art und Weise, in welcher das Licht die perzipierenden Organe der Sehbahn in Erregung versetzt und geben wenigstens zum großen Teil den Anschauungen eine konkrete Basis.

Leider liegen die tatsächlichen Verhältnisse nicht so einfach, daß sie ohne weiteres hierbei überhaupt eine einfache Vorstellung gestatten. Zunächst habe ich bei den theoretischen Ausführungen bisher vollkommen außer Acht gelassen, daß neben dem „Tagessehen" und seiner Farbenunterscheidung noch ein eigentümliches, besonders in der Peripherie des Gesichtsfeldes und in der Dämmerung ausgesprochenes „Dämmerungssehen" vorhanden ist, das sich von der Art, wie bei Tage gesehen wird, wesentlich unterscheidet (vergl. S. 18 ff.), und sich nicht einfach durch Abnahme des Rotgrün- und Gelbblausinnes erklären läßt.

Diese eigentümliche Veränderung des Sehens bei abnehmender Beleuchtung wird von einigen denselben Elementen der Netzhaut zugeschrieben, welche das Farbensehen bei heller Beleuchtung vermitteln (z. B. Tschermak).

Dann würden eben in den Elementen unter dem Einflusse der zunehmenden Dunkelheit bestimmte photochemische Veränderungen auftreten, durch welche sich die Erregbarkeit für Licht verändert.

Im allgemeinen pflegt aber heute die Vorstellung die meisten Anhänger zu haben, daß das Sehen bei heller Beleuchtung und in der Dämmerung zwei verschiedenen Elementen zukommt. Diese Anschauung liegt der v. Kriesschen Duplizitätstheorie zu Grunde. Naheliegend war es, diese beide in den Stäbchen und Zapfen der Netzhaut zu suchen. Dementsprechend würden die Zapfen, die bekanntlich in der Fovea centralis der Netzhaut allein vorhanden sind, das Tages- und damit das Farbensehen vermitteln, während ihnen dafür nur ein geringes Anpassungsvermögen an die Dunkelheit zukommt; umgekehrt würden die Stäbchen das Dämmerungssehen auslösen; sie sind für sich allein zwar unfähig, verschiedene farbige Empfindungen zu vermitteln, besitzen dafür aber die bekannte gewaltige Empfindlichkeitssteigerung für Helligkeiten. Man könnte also demnach von Zapfen- und von Stäbchensehen sprechen. Die Umschaltung von dem einen in das andere hat man sich natürlich nicht plötzlich vorzustellen, sondern als eine allmähliche und labile, beständig ineinandergreifende.

Als Stütze für die Duplizitätstheorie wird vor allem angeführt, daß die räumliche Verteilung des Dämmerungssehens im Gesichtsfeld mit der anatomischen Verteilung der Stäbchen in der Netzhaut gut übereinstimmt, indem der gering ausgeprägten Adaptationsfähigkeit der Fovea centralis auch ein stäbchenfreier Netzhautbezirk entspricht.

Außerdem wird der Sehpurpur, der seinen Sitz in den Stäbchen hat, von Lichtern verschiedener Wellenlänge in einer Weise gebleicht, die viel Ähnlichkeit hat mit der Erregbarkeit des Sehorganes in der Dämmerung (S. 20)[1]. Ob der Sehpurpur mit der physiologischen Wirkung des Lichtes wirklich in nähere Beziehung zu bringen ist, muß vorläufig dahingestellt bleiben.

Die angeborene totale Farbenblindheit, soweit sie mit dem S. 32 beschriebenen typischen Bilde übereinstimmt, könnte demnach als ein Stäbchensehen betrachtet werden. Der Streit hierüber war zeitweilig ziemlich heftig, und besonders das Vorhandensein oder Fehlen eines zentralen Skotoms bei der totalen Farbenblindheit wurden für bezw. gegen die Duplizitätstheorie ins Feld geführt.

Es hat nun anderseits auch nicht an Ansichten gefehlt, welche in dem Stäbchenapparat der Netzhaut den Träger oder Vermittler einer bestimmten Farbenempfindung sehen wollten, nämlich der Blau- oder Blaugelb-Empfindung, je nachdem die 3-Komponenten- oder Gegenfarbentheorie zu Grunde gelegt wurde (König, Siven u. a.). Von der Mehrzahl der Forscher ist diese Anschauung nicht angenommen worden, da schon von vornherein die Tatsache dagegen spricht, daß die stäbchenfreie Fovea centralis durchaus nicht der Blauempfindung (bezw. ihrer Vermittlung) entbehrt. Immerhin machen eine Reihe von Tatsachen derartige Überlegungen begreiflich; so stimmt die Qualität des Dämmerungssehens (für die Anhänger der Duplizitätstheorie also das Stäbchensehen) nicht mit dem Farblossehen bei Tage überein, sondern entspricht vielmehr einer bläulichen Farbe. Auch ist in der Tat die stäbchenfreie Fovea centralis der Netzhautperipherie auch bei Tage im Sehen blauer Farben unterlegen (s. S. 24 unten).

Da im allgemeinen die Vermittelung des Farbensehens den Zapfen zugesprochen wird, so hat man mehrfach versucht, auch hier zu spezielleren Vorstellungen zu gelangen. Doch sind die Tatsachen, die wir bis jetzt kennen, zu gering, als daß sich für die eine oder andere Ansicht ein genügender Beweis erbringen läßt. Die einen nehmen für jede hypothetische Komponente einen besonderen Netzhautzapfen an, dem nur die spezifische Funktion zukommt. So tun alle diejenigen, welche in den farbigen Ölkugeln der Vogelnetzhaut Lichtfilter für die Komponenten erblicken,

[1]) Näheres s. v. Kries in Nagel, Handbuch der Physiologie des Menschen, III. Band.

ähnlich wie bei der Dreifarbenphotographie, und diese Anschauung auf den Menschen übertragen. Andere sehen in jedem einzelnen Zapfen den Träger aller Komponenten bezw. Teilerregungen.

Als Beispiele seien einige der verschiedenen Spezialtheorien angeführt.

Nach Green (20) sind die Zapfen überhaupt unempfindlich gegen Licht, aber empfindlich gegen die chemischen Veränderungen des Sehpurpurs. Dieser wird unter Einwirkung des Lichtes aus den Stäbchen frei, verbreitet sich in der Fovea centralis bezw. in der Netzhaut und übt einen Reiz auf die Zapfen aus.

Von Interesse ist der Versuch, vom entwickelungsgeschichtlichen Standpunkte aus eine Erklärung zu geben für die Differenzierung der Komponenten in den Zapfen, wie er den einander ähnlichen Theorien von Fick, Schenk und Franklin zu Grunde liegt. Stäbchen und Zapfen können entwickelungsgeschichtlich als verschiedene Stufen aufgefaßt werden. Dementsprechend stellen die Stäbchen die niedrigste Stufe, die Träger der Ursehsubstanz dar. Die Zapfen-Weiß-Sehsubstanz entwickelt sich erst aus dieser Ursehsubstanz, sie ist auf ihrer niedersten Entwickelungsstufe noch nicht differenziert, z. B. in der äußersten Gesichtsfeldperipherie. Auf der nächst höheren Stufe tritt eine Teilung der Weiß-Sehsubstanz in Gelb- und Blau-Substanz ein, z. B. in der „rotgrünblinden“ Zone des Gesichtsfeldes. Beim Übergang in die nächst höhere Stufe der Entwickelung erfolgt eine zweite Teilung, nämlich der Gelb-Substanz in Rot- und Grün-Substanz. (Über die Einzelheiten der Theorien und die Erklärung der verschiedenen Formen der Farbenblindheit s. v. Kries (10), Schenk (18).

Auf anatomisch-physikalischer Grundlage erklärt Rählmann (13) in beachtenswerter Weise die Beteiligung der Netzhautzapfen an der Farbenempfindung. Die Außenglieder der Zapfen wirken als Spiegelapparat, an dem die Lichtwellen reflektiert werden und nun innerhalb der Innenglieder mit dem einfallenden Lichtstrahl stehende Wellen bilden. Diese müssen natürlich bei kurzwelligem Licht eine andere Größe haben als bei langwelligem usw.

Krarup (12) will für das Sehen der Farben die anatomische Endigung der einzelnen Zapfeneurone in den verschiedenen Netzhautschichten verantwortlich machen (Theorie der sekundären Schichten). Die Art und Weise der Anschauung mutet allerdings etwas befremdend an.

Neue Theorien bezw. Ausbau der vorhandenen nach verschiedenen Richtungen sind im allgemeinen für die Zukunft kein großes Heldenstück mehr. Und wenn wir das bisherige Ergebnis überschauen, so müssen wir sagen, daß trotz der großen Zahl der bereits vorhandenen Theorien dadurch die Kenntnis von dem Wesen der Farbenempfindung kaum in entsprechendem Maße gefördert worden ist. Erfreulicher Weise macht sich heute mehr und mehr das Bestreben geltend, durch möglichst sorgfältige Beobachtungen neue Bausteine zusammenzutragen, anstatt mit den vorhandenen immer wieder von neuem zu bauen. Ich glaube, daß hierfür die erworbenen Störungen des Farbensinnes noch ein sehr dankbares Arbeitsfeld darbieten.

Literatur.

Ein ausführliches Verzeichnis der Literatur befindet sich in Helmholtz, Physiologische Optik, II. Auflage 1896, sowie in anderen physiologischen Handbüchern.

Hier sind nur einige neuere Arbeiten aufgeführt, welche in den bisherigen Ausführungen z. T. erwähnt sind und welche eine Anleitung zum weiteren Studium geben mögen.

1. v. Hippel, Ein Fall von einseitiger kongenitaler Rotgrünblindheit usw. Graefes Arch. f. Ophth. 26 (2) S. 176. 1880.
2. Donders, Über Farbensysteme. Graefes Archiv f. Ophthalm. **27** (1) S. 155. 1881.
3. Franklin, Zeitschrift f. Physiologie und Psychologie der Sinnesorgane, Bd. 4, S. 211. 1893.
4. Vintschgau, Arch. f. d. Ges. Physiologie, Bd. XLVIII, S. 431 u. Bd. LVII, S. 191. 1894.
5. Mauthner, Farbenlehre, Bergmanns Verlag, Wiesbaden. 1894.
6. Silex, (Ophthalmologenkongreß in Utrecht.) Zeitschrift f. Augenheilk., Bd. II, Beilagenheft. 1899.
7. Hering, Über Newtons Gesetz der Farbenmischung. „Lotos“ Bd. VII. 1887.
8. Grunert, Über angeborene totale Farbenblindheit. v. Graefes Archiv f. Ophthalmol., Bd. 56, S. 132. 1903.
9. Landolt, Die Untersuchungsmethoden, Graefe-Saemisch, Handbuch der gesamten Augenheilk. 1904. (3. Aufl. erscheint demnächst.)
10. v. Kries, Nagels Handbuch der Physiologie des Menschen, III. Bd. Braunschweig, Vieweg u. S. 1905.
11. Hering, Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. Graefe-Saemisch, Handbuch d. gesamt. Augenh. II. Aufl. III. Bd. 1905.
11a. Gullstrand, Die Farbe der Macula centralis retinae. Graefes Archiv f. Ophthalm. **62**, S. 1, 1905.
12. Krarup, Physisch-ophthalmologische Grenzprobleme. Leipzig, G. Thieme. 1906.
13. Rählmann, Die neue Theorie der Licht- und Farbenempfindung auf anatomisch-physikalischer Grundlage. Zeitschr. f. Augenh. XVI, S. 448.
14. Guttmann, Untersuchungen über Farbenschwäche. Zeitschr. f. Sinnesphysiol. **42**, S. 24, S. 250, **43**, S. 146, 199, 255. 1907.
15. Nagel, Eine Dichromatenfamilie. Zeitschr. f. Sinnesphys. **41**, S. 155, 1907.
16. Nagel, Über die Gefahren der Farbenblindheit im Eisenbahn- und Marinedienst. Berlin. ophthalm. Gesellsch. 1907.
17. Nagel, Versuche mit Eisenbahnsignallichtern usw. Zeitschr. f. Sinnesphys. **41**, S. 455. 1907.
18. Schenk, Theorie der Farbenempfindung und Farbenblindheit. Arch. f. d. ges. Physiologie, Bd. 118, S. 129. 1907.
18a. Rosmanit, Zur Farbensinnprüfung im Eisenbahn- und Marinedienst. Wien 1907, W. Braumüller.
19. Nagel, Einführung in die Kenntnis der Farbensinnstörungen u. ihre Diagnose. Bergmann, Wiesbaden. 1908.
20. Green, Die Wahrnehmung des Lichtes und der Farben. Berliner klin. Wochenschrift **46**, S. 12. 1909.

21. Guttmann, Farbensinn und Malerei. Die Umschau, XIII, No. 1. 1909.
22. Koffka, Untersuchungen an einem protanomalen System. Zeitschr. f. Sinnesphysiologie **43**, S. 123. 1909.
23. Rosmanit, Zur Frage der bahnärztlichen Farbensinnprüfung. Wiener klin. Wochenschr. XXII, No. 24. 1909.
24. Tigerstedt, Handbuch der physiologischen Methodik III, 2 (Nagel, Methoden zur Erforschung des Licht- u. Farbensinnes). Leipzig, S. Hirzel.
25. Nagel, Farbenumstimmung beim Dichromaten. Zeitschr. f. Sinnesphysiol. Bd. **44**, S. 5. 1910.
26. Guttmann, Anomale Nachbilder, Zeitschr. f. Physiologie, Bd. **57**, S. 271.
27. Westphal, Unmittelbare Bestimmung der Urfarben. Zeitschr. f. Sinnesphysiologie, **44**, S. 182. 1910.
28. Zeemann und Weve, Ein Spektralapparat zur Untersuchung des Farbensinnes. Klin. Monatsbl. f. Aug. **49** (4) S. 490. 1911.
29. Köllner, Über das Grenzgebiet zwischen Farbenschwäche und normalem Farbensinn. Ber. über die 37. ophthalm. Gesellschaft zu Heidelberg 1911.
30. Rählmann, Über Farbensehen und Malerei, 2. Aufl. München 1902, E. Reinhardt.

Die erworbenen Störungen des Farbensinnes.

I. Allgemeine Pathologie des Farbensinnes.

A. Allgemeines über die erworbenen Störungen des Farbensinnes.

Unterschied gegenüber den angeborenen Farbensinnstörungen.

Alle die erworbenen Störungen des Farbensinnes unterscheiden sich von vornherein dadurch von den angeborenen, daß die Patienten in der Regel die Erinnerung an ihren früheren normalen Farbensinn besitzen. Sie verbinden daher mit den Farbenempfindungen im allgemeinen die gleichen Benennungen wie der Normale. Wenn also ein Patient eine Rotgrünblindheit erwirbt und nun ähnlich wie der angeborene Rotgrünblinde rote Objekte gelblich sieht, so ist er sich in der Regel dieses veränderten Farbensehens bewußt und nennt dieses Gelb nicht etwa rot, sondern für gewöhnlich wirklich gelblich.

Dieser Umstand muß die Diagnose erworbener Farbensinnstörungen gegenüber den angeborenen einigermaßen erleichtern; denn wir können uns mit einiger Sicherheit bei ihnen der Methode bedienen, farbige Objekte benennen zu lassen, was bei der angeborenen Farbenblindheit vermieden werden muß, weil man sonst zu falschen Schlüssen gelangen kann.

Freilich gibt es auch Patienten, welche z. B. bei langer Dauer einer Erkrankung sich schließlich ähnlich verhalten, wie die angeborenen Farbenblinden, d. h. aus allerlei sekundären Hilfsmitteln (Helligkeit usw.) auf die Farbe schließen und somit vorgehaltene farbige Objekte richtig benennen, selbst wenn sie sie anders sehen wie der Normale. Das ist besonders dann der Fall, wenn sie ein Interesse daran haben, den Arzt glauben zu machen, daß ihre Leiden nicht so schlimm wären. In derartigen Fällen bekommt man bei einfachem Benennenlassen von

Farben dann zuweilen kein richtiges Bild von Art und Grad der vorliegenden Farbensinnstörung.

Ferner pflegen erworbene Farbensinnstörungen meist nur einen Teil des Gesichtsfeldes einzunehmen, oft mit recht scharfer Grenze zwischen dem gesunden und erkrankten Bezirk.

Bei beginnender Störung bezw. unvollkommener Farbenblindheit ist das so gut wie stets der Fall. Da das bei der angeborenen Farbenblindheit nicht vorkommt, besitzen wir hierin nicht nur ein gutes Unterscheidungsmittel zwischen angeborenen und erworbenen Störungen im Zweifelsfalle, nein auch die Diagnose wird wiederum erleichtert, denn man kann z. B. am Perimeter direkt ein farbiges Objekt von normalem Bezirk auf einen erkrankten überführen. Der Patient ist dann bei der Beurteilung der Farbe nicht mehr auf seine Erinnerungsbilder angewiesen, sondern er kann direkt die aufeinanderfolgenden Eindrücke, der normalen und veränderten Empfindung, vergleichen.

Nach alledem müßte die Diagnose erworbener Farbensinnstörungen ganz allgemein leicht sein. In der Tat, daß oder ob eine Störung des Farbensinnes vorhanden ist, ist vielleicht oftmals leichter zu entscheiden, als die Frage, ob ein Mann angeboren farbentüchtig ist oder nicht. Während man sich jedoch bei der angeborenen Farbenblindheit hierauf beschränken und auf eine Feststellung der einzelnen Formen der Farbenblindheit verzichten kann, ist bei den erworbenen Störungen gerade erforderlich festzustellen, welche Form vorliegt, wenn man überhaupt diagnostische Schlüsse aus der Farbensinnstörung ziehen will. Diese notwendige Entscheidung, was für eine Form der Farbenblindheit vorliegt, ist zuweilen recht schwierig. Bei den erworbenen Störungen handelt es sich nicht immer um so scharf charakterisierte, scharf geschiedene Formen von Farbenblindheit, wie wir sie angeboren kennen. Wir finden dafür oft eine ausgedehnte Abhängigkeit von den Untersuchungsbedingungen, Größe, Sättigung usw. der farbigen Objekte, die zur Prüfung verwendet werden. Das schwierigste sind die Übergänge und Kombinationen verschiedener Störungen miteinander. Es ist in einigen Fällen auch dem Erfahrensten unmöglich, sich mit den gebräuchlichen klinischen Mitteln der Untersuchung durchzuhelfen und zu einer sicheren Entscheidung zu kommen, welche Form der Störung eigentlich vorliegt, zumal, wenn gleichzeitig die Sehschärfe herabgesetzt ist, gleichzeitig Lichtsinn- und Adaptationsstörungen bestehen oder das Gesichtsfeld in kleinen getrennt nebeneinanderliegenden Bezirken betroffen ist.

Die Formen der erworbenen Farbensinnstörungen.

Man wird erwarten, daß der Reichtum an Formen bei den erworbenen Störungen des Farbensinnes ein recht großer ist. Denn nicht nur kann die Natur des pathologischen Prozesses, welcher die Farbensinnstörung hervorruft ein sehr verschiedener sein, auch der Sitz der Herderkrankung innerhalb der langen Sehbahn ist ein mannigfaltiger, selbst wenn man auch nur eine Erkrankung der lichterregbaren Elemente des Auges, der Reizleitung und der zentralen Empfangs- und Empfindungsstation berücksichtigen wollte. Rechnet man dazu noch den Einfluß einer erkrankten Psyche auf die Farbenempfindung, so ergeben sich theoretisch sehr viele Variationsmöglichkeiten. Man kann weiterhin fragen, in welcher Weise der normale Farbensinn durch die Krankheitsprozesse beeinflußt wird; geschieht es immer nur in einem Sinne, nämlich entsprechend einer Vereinfachung, einer Reduktion des Farbensinnes, oder kommen unter dem Einflusse von Reizwirkungen auch Steigerungen des Farbensehens vor, welche schließlich zu einer Empfindungsweise führen, wie sie unter normalen Verhältnissen und durch eine Vereinfachung dieser normalen Sehweise niemals erreicht werden kann?

Es ist schwer hierauf die Antwort schon jetzt zu geben. Denkt man an die Erscheinung der Chromatopie, bei der plötzlich ein Teil des Gesichtsfeldes in einer bestimmten Farbe gesehen wird, so muß man zu letzterer Annahme geneigt sein. Immerhin kann jedoch daran festgehalten werden, daß die weitaus größte Mehrzahl der Farbensinnstörungen, alle die, welche man kurz als mehr oder weniger vollkommen erworbene Farbenblindheit zu bezeichnen pflegt, Vereinfachungen darstellen, also ein Minus gegenüber unserem hochentwickelten normalen Farbensinn.

Die E i n t e i l u n g der Farbensinnstörungen ist umso schwieriger, je mehr neues Tatsachenmaterial die Forschung auf diesem noch wenig bearbeiteten Gebiete schafft. Wie überall in der Pathologie sind auch hier die einzelnen Erscheinungsformen keine scharf abgegrenzten, sondern es gibt untereinander und nach dem Normalen hin überall Übergänge, sodaß jede Einteilung mehr oder weniger willkürlich sein muß.

Wir wollen die erworbenen Farbensinnstörungen vorläufig in folgende Gruppen einteilen:

1. Anomalien, welche insofern eine gewisse Ähnlichkeit mit den angeborenen Farbensinnstörungen haben, als die sogen. tonfreien Farben der Schwarz-Weiß-Reihe bei ihnen nach wie vor vorwiegend farblos gesehen werden, während die Zahl der unterschiedenen Farbentöne gleichzeitig erheblich geringer geworden ist.

2. Das Farbigsehen oder die Chromatopie, bei welcher auch die tonfreien Farben in einer „bunten" Farbe gesehen werden. Diese Farbe kommt als etwas neues hinzu und dominiert in dem Farbensehen des Patienten so, daß sie sich zu allen anderen Farben hinzuaddiert.

Die Grenze zwischen beiden Formen von Farbensinnstörungen ist wieder nicht genau zu ziehen. Denn viele Fälle, welche scheinbar der ersten Gruppe zuzuzählen sind, werden von mehr oder weniger angedeuteter Chromatopie begleitet. Auch ist zu bedenken, daß ein Farbigsehen allmählich durch „Gewöhnung" scheinbar verschwinden kann, auch wenn die Ursache gegenüber dem Normalen noch fortbesteht. Immerhin ist die klinische Erscheinungsweise bei beiden Gruppen im allgemeinen charakteristisch genug, um die Einteilung zu rechtfertigen.

3. Endlich schließen sich diejenigen Störungen an, bei welchen sich im Farbenunterscheidungsvermögen und in der Qualität der gesehenen Farben kein Unterschied gegenüber dem Normalen nachweisen läßt, wo aber die Assoziationen mit anderen Hirnzentren gestört sind, sodaß bei bestimmter Untersuchung zum mindesten eine wirkliche Farbenblindheit vorgetäuscht werden kann.

Mit der ersten Gruppe, der erworbenen Farbenblindheit kurzweg, die häufigste und wichtigste, soll im folgenden begonnen werden. Wiederum lassen sich auch hier verschiedene Formen unterscheiden, ähnlich den angeborenen Farbensinnstörungen. Bei letzteren wurden als Grundlage für die Einteilung die Ergebnisse der Lichtmischung zu Grunde gelegt, weil sich die Empfindungen der Farbenblinden nicht ohne weiteres mit denen der Normalen vergleichen ließen.

Bei der erworbenen Farbenblindheit ist das jedoch im großen und ganzen möglich; daher kann man unbedenklich die alte Einteilung der erworbenen Farbensinnstörungen nach der Art des Farbensehens, das den Patienten noch verblieben ist, beibehalten. Tut man das, so ergeben sich von selbst zwei entgegengesetzte Richtungen, nach denen hier der normale Farbensinn so gut wie durchgängig sich vereinfacht. Das eine Mal werden Rot und Grün am längsten unverändert gesehen, während der größte Teil der übrigen Farbentöne sich diesen beiden Farben nähert, und Blau und Gelb am frühesten sein Aussehen ändert.

Das andere Mal verläuft der Prozeß der Vereinfachung des Farbensehens gerade umgekehrt: Rot und Grün verändern zuerst und am auffälligsten ihr Aussehen[1]), während Gelb und Blau am längsten ihre spezifische Farbe wahren, und die Mehrzahl der übrigen Farbentöne sich den letzteren beiden zu nähern scheint.

[1]) Ob das immer gleichzeitig geschieht oder nicht, bleibt dabei zunächst unberücksichtigt.

Dementsprechend kann man zwei Gruppen erworbener Farbenblindheit unterscheiden, die man mit dem Namen Gelbblaublindheit und Rotgrünblindheit zwar nicht erschöpfend aber doch hinreichend charakterisiert, wenn man nicht mehr darunter versteht, als eben angedeutet wurde.

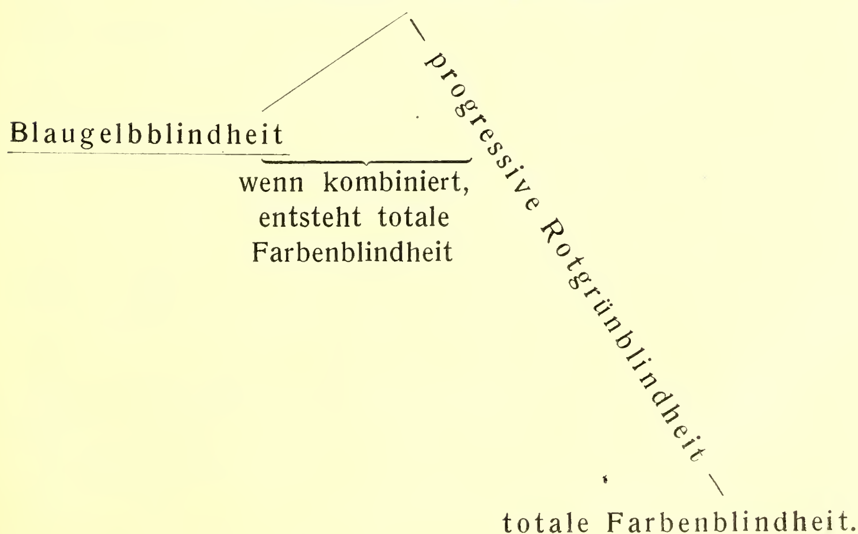
Die Bezeichnungen entsprechen der Heringschen Farbentheorie, nach welcher neben dem Schwarzweißsinn ein Rotgrün- und Gelbblausinn angenommen wird, sowie auch der v. Kriesschen Zonentheorie (S. 95 u. 97).

Diese beiden Hauptformen, die also gleichsam zwei verschiedene Wege darstellen, auf welchen durch die fortschreitende Funktionsstörung die normale Farbenempfindung in Verlust geraten kann, haben neben dem Gegensätzlichen in der Qualität des Farbensehens auch sonst noch mehrfache Verschiedenheiten.

Die eine, die Gelbblaublindheit, stellt eine qualitative Störung dar, ähnlich der angeborenen Farbenblindheit, gleichsam etwas Fertiges. Demgegenüber trägt die Rotgrünblindheit — wenigstens in ihrer typischen Form — einen ausgesprochenen quantitativen Charakter, mit einer weitgehenden Abhängigkeit von den Beobachtungsbedingungen, wie das Verhalten der Farbenempfindung beim peripheren Sehen des Normalen. Wie dort ist auch die Rotgrünblindheit in den meisten Fällen nur ein Stadium einer Farbensinnstörung, welche zum völligen Verlust des Farbensinnes (erworbene totale Farbenblindheit) führen kann.

Man kann sich auch vorstellen, daß die Blaugelbblindheit nur zur totalen Farbenblindheit führt, wenn sie mit Rotgrünblindheit (angeboren oder erworben) zusammentrifft, während die letztere von selbst dahin führt. Diese mutmaßlichen Beziehungen lassen sich an folgendem Schema anschaulicher darstellen:

Normaler Farbensinn



Im folgenden wird neben der Blaugelbblindheit und der Rotgrünblindheit als dritte Gruppe die erworbene totale Farbenblindheit gesondert besprochen.

Die bisherigen im allgemeinen gut übereinstimmenden Untersuchungen rechtfertigen durchaus die Darstellung der Farbenblindheit in dieser Zusammenfassung[1]). Sie erleichtert die Übersicht erheblich. Keineswegs soll jedoch damit ausgedrückt sein, daß sich jede erworbene Farbenblindheit nur in dieser typischen Weise vollzieht. Ganz abgesehen von den zahllosen Übergängen und Kombinationen ist das Vorkommen von atypischen Formen, welche den genannten Hauptformen nur angegliedert werden können, durchaus wahrscheinlich, ebenso wie vielleicht auch die Rotgrünblindheit usw. sich mit Verfeinerung der Untersuchungsmittel vom Standpunkte der Lichtmischung noch in Unterformen wird zerlegen lassen, ähnlich wie es bei der erworbenen totalen Farbenblindheit ja jetzt bereits geschieht (S. 195).

Entstehung der erworbenen Farbensinnstörungen.

Es bestehen zwei Möglichkeiten. Einmal kann der adaequate Reiz des Sehorganes, die Lichtstrahlen, ein anderes Farbensehen auslösen, wie normal.

Die Ursache kann darin bestehen, daß a) die Zusammensetzung der Lichtstrahlen innerhalb des Augapfels eine Aenderung erleidet, durch elektive Dispersion, Absorption usw. z. B. durch Gelbfärbung der Augenlinse beim Alter.

b) Die perzipierenden Elemente der Netzhaut können ihre Erregbarkeit eingebüßt oder verändert haben. Wahrscheinlich ist hierauf das Symptomenbild der erworbenen Blaugelbblindheit zurückzuführen, sowie auch die Hemeralopie oder Nachtblindheit.

c) Die Leitung der Netzhauterregungen zur Hirnrinde kann an irgend einer Stelle ihres langen Verlaufes durch Netzhaut, Sehnerv, Chiasma, Traktus und Sehstrahlung beeinträchtigt sein; auf diese Weise entsteht in den meisten Fällen das Bild der typischen erworbenen Rotgrünblindheit bei Sehnervenatrophien usw.

d) Die Empfindung selbst in den zentralen Zentren kann gestört sein, etwa bei Erkrankungen der Hirnrinde, sie kann in mannigfaltiger Weise beeinflußt werden durch psychische Momente im

[1]) Eine gemeinschaftliche Zusammenfassung und Gruppierung angeborener und erworbener Farbensinnstörungen etwa rein vom Standpunkte der Lichtmischung (Aichung) unterbleibt nach meiner Ansicht vorläufig besser wegen der durchgreifenden Verschiedenheiten beider. Den Versuch einer derartigen theoretischen Gruppierung hat Nagel (1) gemacht.

Gefolge rein funktioneller Erkrankungen des Nervensystems, Hysterie, Neurasthenie usw.

Demgegenüber stehen erworbene Farbensinnstörungen, welche durch nicht adaequate Reize des Sehorganes (mechanische, thermische, toxische bezw. chemische usw.) veranlaßt werden und infolgedessen auch ohne gleichzeitigen Lichteinfall in das Auge, also im finstern Raume, ja bei vollkommen erblindetem Auge auftreten können.

Derartige mechanische Reize kommen wahrscheinlich in Gestalt von Zerrungen an der Netzhaut bei Ablösungen vor; da für die Netzhaut das Gesetz der spezifischen Empfindlichkeit nicht vollkommen gültig ist, werden auch diese Reize „durchgelassen" und können im Zentralorgan, das durchaus dem Gesetz der spezifischen Empfindung unterworfen ist (Feilchenfeld 3), eine Licht- bezw. Farbenempfindung hervorrufen. Anders verhält es sich mit dem Sehnerven. Es sei gleich an dieser Stelle betont, daß nach den neueren negativen Beobachtungen an Durchschneidungen des Sehnerven beim Menschen (Hess 2, u. a.) es äußerst unwahrscheinlich geworden ist, ob überhaupt mechanische Reizungen des Sehnerven im stande sind, „durchgelassen" zu werden, d. h. eine Licht- oder Farbenempfindung auszulösen.

Toxische und chemische Reize des Sehorganes sind nicht selten, wir werden ihnen bei den Vergiftungen wiederholt begegnen, wo auch ohne Lichteinfall in die Augen oft schöne Farbenempfindungen hervorgerufen werden. An welcher Stelle des Sehorganes der Angriffspunkt dieser Reize zu suchen ist, ist zur Zeit noch unbekannt, ebenso auch wie die zahlreichen Erscheinungen pathologischen Farbensehens zu stande kommen, die man gern und bequem auf „innere Reizvorgänge" zurückzuführen pflegt.

Im allgemeinen lösen die nicht adaequaten Reize des Sehorganes die Gruppe von Farbenerscheinungen aus, welche man als Chromatopie bezeichnet. Doch decken sich beide durchaus nicht, es kommen für die Chromatopie noch andere Ursachen in Betracht z. B. physikalische usw. (s. S. 201).

Die Grenze zwischen Physiologie und Pathologie des Farbensinnes zu ziehen, mag auf den ersten Blick sehr leicht erscheinen, erweist sich aber bald auf der ganzen Linie als unmöglich (vergl. auch Hilbert 4).

Es liegt schon im Charakter der erworbenen Rotgrünblindheit daß der normale Farbensinn allmählich in zunehmendem Grade in Verlust gerät. In den ersten Anfängen der Störung werden so Übergangsformen gebildet, deren Beurteilung um so schwerer fallen muß, als die neueren Beobachtungen immer mehr zeigen,

daß sich innerhalb des normalen Farbensinnes ziemlich weitgehende Unterschiede und Grade nachweisen lassen (Grenzformen zwischen normalem Farbensinn und Farbenschwäche, Köllner).

Ferner gibt es eine Anzahl von subjektiven Farbenerscheinungen, die an das Gebiet der Chromatopie grenzen, und die vorübergehend auch bei sonst Gesunden auftreten, ohne daß sich eine besondere Ursache dafür nachweisen ließe. Es gibt hier vollkommene Übergänge zu den Chromatopien, wie sie bei der Neurasthenie und verwandten funktionellen Erkrankungen auftreten.

Die diagnostische Bedeutung der erworbenen Farbensinnstörungen ist eine mehrfache und zum Teil außerordentlich wichtige.

Das Notwendige hierüber ist später bei den einzelnen Kapiteln mitgeteilt (s. unter Blaugelbblindheit, Rotgrünblindheit, ferner unter spezieller Pathologie bei den Erkrankungen der Netzhaut und den Leitungsbahnen u. s. w.).

B. Die erworbene Blaugelbblindheit (erworbene Tritanopie).

Die Farbensinnstörung ist schon seit langem bekannt und bereits von Leber, Mauthner, Magnus, Cohn und anderen beobachtet und beschrieben worden, zumeist bei Netzhautablösungen.

Stilling (7), welcher bei Chorioretinitis Blaugelbblindheit beobachtete, sprach sich damals noch dahin aus, daß von einer erworbenen Farbensinnstörung nicht die Rede sein könne, da die Übereinstimmung mit der angeborenen Blaugelbblindheit eine zu vollkommene wäre. Mit der Zunahme der Beobachtungen konnte schließlich kein Zweifel mehr herrschen, daß es sich in der Tat um eine erworbene Erscheinung handelte.

Die Erklärung für diese Farbensinnstörung suchte man anfangs in einer Absorption farbiger Strahlen; man verglich sie mit der Erschwerung der Unterscheidung von Grün und Blau bei Lampenlicht (Leber 6) oder auch mit dem Blicken durch ein gelbes Glas (Knies 20, 25). In der Tat kann man, wenn man längere Zeit durch ein passend gewähltes gelbes Glas blickt, bei sich ein verändertes Farbensehen erzeugen, das große Ähnlichkeit hat mit demjenigen, wie es bei der erworbenen Tritanopie auftritt. Auch unter pathologischen Verhältnissen beobachtet man derartige Absorptionserscheinungen, so beim Ikterus und bei gewissen Formen des Altersstares (s. S. 232).

Schließlich stellte König (24) durch eingehende Untersuchungen mit spektralen Mischungsgleichungen fest, daß es sich bei der erworbenen Tritanopie (König nannte sie Blaublindheit) um ein dichromatisches Farbensystem handelte.

Eine ganze Reihe von Namen sind für die Farbensinnstörung gebraucht worden, so Akyanopsie, Erythrochloropie, Violett- oder Blaublindheit, Gelbblaublind-

heit und Tritanopie. Die beiden ersten drücken nur in Fremdworten aus, was die deutschen Worte ebenfalls bezeichnen, sie sind daher durchaus entbehrlich.

Will man mit dem Namen die Farbenempfindung wiedergeben, so hat der Ausdruck Blaugelbblindheit am meisten Berechtigung. Denn von den vier Haupt- bezw. Urfarben Rot, Grün, Blau und Gelb sind die beiden letzteren diejenigen, welche nicht in normaler Weise wahrgenommen werden. Allerdings werden Blau und Gelb nicht farblos gesehen, denn Blau erscheint, soweit es überhaupt sichtbar ist, in der Regel Grün.

Zweckmäßig kann auch die Bezeichnung erworbene Tritanopie angewendet werden. Es drückt sich dadurch die Übereinstimmung aus, mit welcher sich bei der Aichung des Spektrums die erworbene Tritanopie an die Protanopie und Deuteranopie anschließt (s. später).

Das bisher gesagte bezieht sich ausschließlich auf das dichromatische Sehen, das demnach durch genauere Untersuchung nachgewiesen sein muß.

Nun kommt aber die erworbene Tritanopie nicht immer rein vor, sondern mit ähnlichen Störungen des Farbensehens zusammen, von denen es sich klinisch nicht trennen läßt. Diese ganze Gruppe faßt man am besten unter dem erweiterten Begriffe der Blaublindheit zusammen. Damit wird ausgedrückt, daß die Störung im Sehen blauer Farben das am meisten hervortretende Symptom ist; man legt sich aber nicht fest, indem man ein dichromatisches Sehen voraussetzt, für das man den Nachweis noch nicht geliefert hat.

Mit dem gleichen Recht kann man daher das Wort Blaublindheit auch für einfache Absorptionserscheinungen anwenden, wie bei Gelbfärbung der brechenden Medien (Hess). Dadurch erhält es eine ganz andere Bedeutung, als ihm König anfangs gab, der damit wieder nur das dichromatische System der Tritanopie bezeichnete entsprechend der Helmholtzschen Farbensinntheorie und analog den Begriffen Rotblindheit und Grünblindheit.

Vorkommen.

Bis jetzt ist die erworbene Tritanopie ausschließlich bei solchen Erkrankungen nachgewiesen worden, bei denen die Netzhaut entweder ausschließlich oder gleichzeitig mit anderen Teilen des Sehorganes erkrankt war. Hierher gehören die Ablatio retinae, frische ödematöse Prozesse der Netzhaut, Retinitis specifica, albuminuria, Neuritis nervi optici specifica und sympathica.

Niemals bisher konnte bei reinen degenerativen Sehnervenerkrankungen eine erworbene Tritanopie mit Sicherheit nachgewiesen werden.

Diese Verhältnisse ändern sich auch nicht, wenn man an Stelle der Tritanopie den Symptomenkomplex der Blaublindheit berücksichtigt (vergl. hierüber S. 239). Man ist daher höchstwahrscheinlich berechtigt, aus dem Vorhandensein einer erworbenen Tritanopie stets auf einen Netzhautprozeß zu schließen. Dagegen ist es nicht möglich die einzelnen Formen der Erkrankungen mit Hülfe der Tritanopie auseinanderzuhalten. Die Farbensinnstörung tritt stets in gleicher Weise auf.

Näheres über die diagnostische Bedeutung siehe unter Blaublindheit S. 242.

Die Farbenempfindung.

Um die Farbenempfindung bei der erworbenen Tritanopie zu beurteilen, geht man zweckmäßig wieder von dem spektralen Bande aus.

Anstelle der zahlreichen Farbentöne, welche für den Normalen darin enthalten sind, sieht der Tritanop wahrscheinlich nur zwei, nämlich rot und blaugrün, die beide nach einer Stelle, die dem Grüngelb des Normalen entspricht, an Sättigung abnehmen und hier durch einen farblosen Streifen, die neutrale Zone (S. 42), ineinander übergehen. Der Teil des Spektrums, welcher vom Rot über Orange bis zum Grüngelb reicht, sieht der Tritanop somit in Sättigungsabstufungen von rot. Der Teil, welcher vom Grüngelb über Grün, Blau bis zum violetten Ende reicht wird in Sättigungsabstufungen von Blaugrün gesehen. Außerdem nimmt die Helligkeit nach beiden Enden hin ab, besonders stark nach dem violetten Ende (vergl. Tafel III, Fig. 5).

Der Kliniker bezw. der Praktiker ersieht daraus, daß die drei Farben Rot, Gelb und Grün, auf deren Verwechselung die Mehrzahl der Untersuchungsmethoden eingerichtet sind, von Tritanopen sehr wohl unterschieden werden, und zwar nahezu ebenso gut wie vom Normalen.

Im einzelnen gestalten sich die Verhältnisse folgendermaßen[1]:

Die Untersuchungsergebnisse können an Wert freilich niemals denen an die Seite gestellt werden, wie wir sie bei den angeborenen Störungen finden, selbst nicht denen der erworbenen Rotgrünblindheit. Denn, wie bereits einmal erwähnt, tritt die erworbene Tritanopie anscheinend nur selten rein auf, kann sich vielmehr mit mehreren weiteren Störungen verbinden, die sogar wahrscheinlich

[1]) Nach Untersuchungen die an geaichten, sicher erworbenen tritanopischen Systemen von König (24) für das Gaslichtspektrum und von mir für das Nernstlichtspektrum vorgenommen worden sind.

ziemlich ständige Gäste sind; hierzu gehört die progressive Rotgrünblindheit (s. später), Adaptationsstörungen, vielleicht auch Absorptionserscheinungen. Das Produkt sind infolgedessen verschiedene Variationen des Farbensehens, die sich ungefähr folgendermaßen skizzieren lassen.

Wellenlänge des homogenen Lichts	Farbenbenennungen der Lichter
610 $\mu\mu$ und darüber (Rot)	Sie wurden stets als rot bezeichnet. Bei dem Vergleich mit dem gesunden Auge, der sich einige Male ermöglichen ließ (3 Fälle von König, 1 Fall von mir) fand sich kein Unterschied zwischen beiden Augen, nur daß teilweise das Rot für das kranke Auge eine vollere, kräftigere Farbe hatte (vergl. auch Collin und Nagel 31, vielleicht mehr Purpurrot?)
610—600 $\mu\mu$ (Orange)	Auch sie wurden in der Regel rot genannt, doch erschienen sie zuweilen in einem weißlichen Farbenton als rötlich oder weißlich rot.
600—580 $\mu\mu$ (Gelb)	Hier in der Gegend des Natriumgelb, machen sich in der Regel erhebliche Unterschiede gegenüber dem Normalen bemerkbar. Es wurden die Benennungen rosa, rötlich, rötlich-weiß, gelblich-weiß, gelblich, mattes Gelb gewählt, häufig erschien dieser Teil des Spektrums in mehr oder weniger großer Ausdehnung farblos als leuchtendes Weiß, Grau, selbst Grünlichweiß. Sehr interessant ist die Beobachtung, daß das Natriumgelb einige Male lila, bläulich oder violett gesehen wurde (Collin-Nagel, Köllner 40). Leider konnte gerade in diesen Fällen das Vorhandensein eines dichromatischen Systems nicht mit spektralen Mischungsgleichungen nachgewiesen werden, wenn auch der Untersuchungsbefund mit größter Wahrscheinlichkeit dafür spricht.
580—570 $\mu\mu$ (Gelb)	Die neutrale Zone (s. u.).
570—560 $\mu\mu$ (Grüngelb)	Hier beginnt in der Regel ein grünlicher Ton vorzuherrschen. Der Übergang in Grün findet bald früher, bald später statt, je nachdem eine kürzere oder längere Strecke des Spektrums farblos erscheint. Der Tritanop benennt die für den Normalen gelblichgrünen Lichter in der Regel grünlichweiß, blaßgrün oder blaugrün, weißgrün, blaßblau, zuweilen auch noch reinweiß.
von 560 $\mu\mu$ an abwärts (Grün-Blau-Violett)	Der grüne Farbenton tritt mehr hervor, um allmählich immer dunkler zu werden. Dieses Grün wurde entweder als dunkelgrün, blaugrün, grünlichblau, auch als blau bezeichnet. König konnte durch Vergleich mit dem gesunden Auge in 3 Fällen feststellen, daß die Farbe ungefähr den Eindruck machte wie Licht von 485—495 $\mu\mu$ auf dem gesunden Auge (= blaugrün). Oft macht sich bei den Patienten eine große Unsicherheit geltend, ob sie die Farbe blau oder grün nennen sollen, teilweise wurde auch blau und grün annähernd richtig, wie vom Normalen genannt. Violett dagegen wurde stets als dunkelblau oder dunkelgrün bezeichnet und erschien nahezu schwarz.

Wellenlänge des homogenen Lichts	Farbenbenennungen der Lichter
von 560 $\mu\mu$ an abwärts (Grün-Blau-Violett)	Übrigens wechselte die Farbe auch je nach der Lichtintensität, bei Verdunkelung trat Blau, bei Aufhellung Grün mehr hervor (König). In einer Anzahl von Fällen wurde eine bemerkenswerte Beobachtung gemacht. Es fand sich nämlich wiederholt eine konstante Farbendifferenz zwischen Lichtern von 550 bis 520 $\mu\mu$ (für den Normalen grün) gegenüber den kurzwelligeren (für den Normalen blauen und violetten Lichtern). Es erschien hier die Strecke von 550—520 $\mu\mu$ konstant blau, von 520 $\mu\mu$ an abwärts grün, also gewissermaßen umgekehrt wie beim Normalen (König). Auf die Erklärung der interessanten Erscheinung komme ich später zurück.

Das Blaugrün und Rot, in welchem die Tritanopen das Spektrum vornehmlich zu sehen pflegen, sind also zum mindesten annähernd für das normale Auge Komplementärfarben.

Die neutrale Zone. Es wurde bereits erwähnt, daß ein Grüngelb des Spektrums die beiden Töne Rot und Blaugrün ihre Sättigung verlieren. Die farblose Übergangsstelle liegt bei etwa 575 $\mu\mu$ bis 570 $\mu\mu$.

Durch Selbsteinstellung derjenigen Lichter, welche dem Beobachter farblos erscheinen, fand ich die neutrale Stelle in einem Fall bei 576,8 $\mu\mu$ (Mittel aus 5 Einstellungen) die Unsicherheit der Bestimmung betrug etwa 4 $\mu\mu$.

In einem zweiten Fall fand ich 575,5 $\mu\mu$ (Mittelwert aus 9 Einstellungen mit 10 $\mu\mu$ Schwankungsbreite). König fand den neutralen Punkt durch Vergleichen mit dem unzerlegten Tageslicht in 6 Fällen zwischen 566 und 570 $\mu\mu$ (mit 2—3 $\mu\mu$ Unsicherheit) liegen, also weiter nach dem Grün hin, als meine Untersuchungen ergaben.

Zuweilen nimmt die neutrale Zone eine Breite von 20 $\mu\mu$ und darüber ein, d. h. die ganze Gegend des Gelb und Grün im Spektrum wird farblos gesehen. In diesen Fällen wird bereits das ganze Spektrum schon ungesättigter gesehen. Es besteht, wenn man will, auch eine Schwäche des Rotgrünsinnes und der Farbensinn nähert sich bereits der totalen Farbenblindheit.

In anderen Fällen geben die Patienten auch an, sie sähen überhaupt keine Stelle im Spektrum farblos. Hier handelt es sich vermutlich um dem „Grünsehen" (s. S. 213) ähnliche Erscheinungen.

Eine zweite neutrale Zone am violetten Ende des Spektrums, ähnlich wie es einige Male bei angeborener Violettblindheit beobachtet wurde, sah Collin und Nagel (31). Das Spektralband einer Bogenlichtflamme erschien ungefähr vom Indigo an grau, farblos. Ich habe bisher etwas Ähnliches nicht beobachtet, doch ist zu bedenken, daß die Verkürzung des Spektrums hier störend wirken kann.

Verkürzung an den Enden des Spektrums. Das rote Ende des Spektrums sieht der erworben Tritanopische in derselben Ausdehnung wie der Normale (Collin-Nagel, König, Köllner). Dagegen wird das Spektrum am violetten (kurzwelligen) Ende in der Regel verkürzt gesehen; das farbige Band hört für den Tritanopen gewöhnlich im Indigoblau (König) auf, das Ende schwankt zwischen 440 und 470 $\mu\mu$ Wellenlänge (Köllner). Diese Verkürzung wird noch begünstigt durch eine in der Regel gleichzeitig vorhandene Störung der Dunkeladaptation. Denn bei Betrachtung eines längeren spektralen Bandes sehen wir auch mit den extramakularen Netzhautpartien; die Dunkeladaptation macht sich dann auch sofort in der Gegend des spektralen Blau und Violett bemerkbar (siehe auch S. 21). Möglicherweise treten noch Absorptionserscheinungen hinzu (S. 136).

Endstrecken. Ebenso wie für den Normalen und den angeboren Farbenblinden gibt es natürlich auch für das dichromatische System der erworbenen Tritanopie „Endstrecken" im Spektrum, d. h. Strecken, innerhalb deren die Lichter in gleichem Farbenton und Sättigung, nur verschieden hell gesehen werden.

Die langwellige Endstrecke am roten Ende des Spektrums reicht etwa ebenso weit wie beim Normalen (bis 655—630 $\mu\mu$).

Kleine Schwankungen oder größere Ausdehnungen der Endstrecke (bei König bis 620 $\mu\mu$) sind z. T. auf die geringe Schulung der Beobachter, z. T. wohl auch auf eine beginnende Störung der Rotgrünempfindung zurückzuführen (vergl. auch S. 140).

Die kurzwellige Endstrecke beginnt bis etwa 490 $\mu\mu$, also dort, wo der Normale Blaugrün sieht, und erstreckt sich somit über Blaugrün, Blau und Violett. Diese drei Farben, die sich für den Tritanopen also nur durch ihre Helligkeit unterscheiden, müssen seine Verwechselungsfarben bilden, in gleicher Weise wie die Spektralgegend von Rot bis Gelbgrün beim Rotgrünblinden. Da aber gleichzeitig dieser ganze Spektralteil sehr dunkel bezw. verkürzt erscheint, so spielen die Verwechselungsfarben weder praktisch noch diagnostisch eine wesentliche Rolle.

Einen merklichen Einfluß des Gesichtswinkels, unter welchem die Farben gesehen werden, auf die Art des Farbensehens habe ich bis jetzt nicht beobachten können. Darin würde sich die erworbene Tritanopie von vornherein von der erworbenen Rotgrünblindheit unterscheiden, und sich der angeborenen Farbenblindheit mehr nähern[1]). Messungen hierüber wären noch erwünscht. Freilich ist nicht jeder Fall hierzu geeignet, da das

[1]) Von dem Einflusse sehr großer Gesichtswinkel auf das Sehen bei der angeborenen Farbenblindheit (S. 45) wird hier natürlich abgesehen.

Sehvermögen möglichst normal sein soll, und dabei das Skotom, innerhalb welchem die Tritanopie besteht, nicht zu klein sein darf.

Gegenüber Pigmentfarben, z. B. farbigen Papieren, Tuchen, sowie farbigen Gläsern verhalten sich im allgemeinen die typischen Tritanopen in gleicher Weise, wie gegenüber den betreffenden spektralen Lichtern. Berücksichtigt man nur die vier sogen. unveränderlichen Farben Rot, Grün, Blau und Gelb, so läßt sich etwa folgendes sagen.

Rote und grüne Farben werden annähernd unverändert gesehen, zum mindesten auch als rot und grün bezeichnet. Gelbe und blaue Farben dagegen erscheinen verändert. Die gelben werden rosa, lilarosa, grau, grünlich usw. (vergl. oben), je nachdem der Farbenton des Gelb sich mehr dem Orange nähert, oder dem Grüngelb. Blau wird Grün genannt, teils heller, teils dunkler, zuweilen erscheint es auch wohl nahezu schwarz. In jedem Falle ist diese Veränderung der Empfindung blauer Farben das wichtigste und auffälligste Symptom.

Ausnahmen. 1. In einer großen Zahl von Fällen werden auch grüne Farben grau oder weiß genannt, zumal wenn sie wenig gesättigt oder von geringer Intensität sind und sich dem Gelbgrün nähern. Nur bei Gegenüberstellungen mit Rot tritt zuweilen die grüne Farbe noch als Kontrastwirkung hervor. Höchstwahrscheinlich handelt es sich hier bereits um weitergehende Störungen des Farbensinnes, d. h. um eine „Schwäche des Rotgrünsinnes", um eine hinzugetretene beginnende Rotgrünblindheit.

2. Einzelne Tritanopen, deren dichromatisches Sehen durch Spektraluntersuchung außer Frage gestellt ist, bezeichnen auch gelbe und blaue Objekte zuweilen noch als Gelb und Blau, vorausgesetzt, daß die Farben nicht unter zu kleinem Gesichtswinkel, zu ungesättigt usw. erscheinen. Derartige Patienten können (ähnlich den angeborenen Tritanopen) bei der Untersuchung leicht übersehen werden, wenn man sich darauf beschränkt, rote, grüne, gelbe und blaue Farbeflecke einfach benennen zu lassen.

Verwechselungsfarben des erworbenen Gelbblaublinden.

Verwechselungsfarben stellen zunächst alle Lichter dar, welche für den Gelbblaublinden innerhalb seiner spektralen Endstrecke liegen, also Blaugrün, Blau und Violett, die ihm allerdings bereits sehr dunkel, oft nahezu schwarz erscheinen und deswegen praktisch keine große Rolle spielen. Er sieht alle

gleichmäßig blaugrün. Außerdem wird ein bestimmtes Gelb leicht mit Grau bezw. Weiß verwechselt, nämlich dann, wenn es etwa in seinem Farbenton dem neutralen Punkt im Spektrum (S. 118) entspricht.

Orange und ein nicht allzu gesättigtes Violettrot sehen gleich aus, der Tritanop nennt sie beide rosa.

Gelb kann mit einem ungesättigten Rotviolett (Lilarosa) verwechselt werden, beide erscheinen farblos oder wenigstens nahezu Grau, mehr rötlich oder mehr grünlich, je nach dem Farbenton.

Alle weiteren Verwechslungsmöglichkeiten erklären sich aus den hier angedeuteten, sowie aus dem Verhalten im Spektrum. Praktisch wichtig ist vor allem die Tatsache, daß die drei Farben Rot, Gelb und Grün, die so häufig bei Farbenuntersuchungsproben angewendet werden, auch in ungesättigten Farben von dem Tritanopen nahezu ebenso sicher unterschieden werden können, wie vom Normalen, sofern nicht bereits eine Schädigung auch des Rotgrünsinnes erfolgt ist.

Die subjektiven Erscheinungen.

Freiwillige Klagen darüber, daß bestimmte Farben schlecht bezw. nicht erkannt werden, findet man ziemlich selten. Zum Teil liegt es daran, daß oft nur ein Auge oder sogar nur ein kleines Skotom „blaugelbblind" ist. Gewöhnlich geben die Patienten dann an, die blauen Farben nicht zu erkennen, bezw. sie halten blaue Gegenstände für grün oder schwarz. So beobachtete Gerhard einen Patienten mit Retinitis albuminurica, dem blaue Blumen schwarz erschienen, während er die Farben der übrigen richtig erkannte. Ich sah einen Herrn, der angab die blauen Hyazynthen mit dem tritanopischen Auge grün zu sehen.

Von Interesse sind die Klagen der erworben Blaugelbblinden über Farbigsehen (Chromatopie), das hier geradezu eine diagnostische Bedeutung besitzt.

Viele Patienten geben an, einen blauvioletten Fleck zu sehen, der sich besonders beim Blicken gegen helle Flächen, z. B. Wände, Fenster, bemerkbar macht. Das Tageslicht erscheint also gefärbt. Teilweise tritt es nur auf, wenn die Augen vorher kürzere oder längere Zeit geschlossen wurden, um dann nach wenigen Minuten wieder völlig zu verblassen.

Hierher gehört wohl auch die nicht seltene Erscheinung, daß bei peripheren frischen Aderhauterkrankungen über lebhaftes Violettsehen geklagt wird.

Nach mehreren Tagen oder Wochen sieht der Patient statt des blauvioletten einen grünlichen Fleck (Näheres s. „Grünsehen“ S. 213) in derselben Weise. Gewöhnlich verblaßt das grüne Skotom weniger schnell als das blaue und belästigt daher die Patienten auch mehr.

Hört man Klagen über derartiges Sehen violetter oder grüner Flecke im Gesichtsfeld, besonders, wenn sie sich tagelang konstant halten, so muß man stets an Blaugelbblindheit bezw. an frische Netzhaut- und Aderhauterkrankungen denken. Auch die Chromatopie kann einer derartigen Erkrankung vorausgehen und zeitweise die einzige nachweisbare Funktionsstörung bilden. Ich habe z. B. Fälle von Netzhautablösung gesehen, wo Grünsehen wochenlang der Ablösung vorausging, ebenso einen Fall, wo noch ein Jahr nach der Wiederanlegung als Warnungszeichen Grünsehen bestand.

Diagnose der erworbenen Tritanopie und ihr Verhalten gegenüber einigen gebräuchlichen Untersuchungsmethoden.

Die Diagnose der erworbenen Tritanopie, d. h. also des dichromatischen Sehens[1]), läßt sich mit Sicherheit nur mit Hilfe spektraler Mischungsgleichungen stellen, auch hier nur mit Apparaten, die fast stets nur dem Physiologen, nicht dem Kliniker zur Verfügung stehen.

Die Feststellung der angeborenen und erworbenen Rotgrünblindheit — der Kürze wegen sollen alle hierher gehörigen Formen unter dieser Bezeichnung zusammengefaßt werden — ist ja deswegen relativ leicht, weil die markanten Farben Rot, Gelb und Gelbgrün innerhalb der „Endstrecke“ liegen (vergl. S. 43), also Verwechselungsfarben bilden, und weil diese Farben gleichzeitig ziemlich hell gesehen werden und sich auch technisch in genügender Lichtstärke herstellen lassen. Der Nachweis einer Endstrecke, die vom Rot bis zum Gelbgrün reicht, genügt aber zum Nachweis des dichromatischen Sehens bei der Rotgrünblindheit.

Bei der Tritanopie liegen die Verhältnisse nicht so günstig, weil, wie oben mitgeteilt wurde, Rot, Gelb und Grün ziemlich gut unterschieden werden. Die Verwechselungsfarben werden z. T. (Blaugrün, Blau und Violett) so dunkel gesehen, daß es schwer wird, mit ihnen Prüfungen vorzunehmen.

Am einfachsten läßt sich die erworbene Tritanopie dadurch feststellen, daß man eine größere Reihe farbiger Objekte von dem

[1]) Im Gegensatz zu der klinischen Diagnose der Blaublindheit in erweitertem Sinne; vergl. S. 239.

Patienten benennen läßt. Am besten geht man dabei so vor, daß man am Perimeter oder ähnlichen Apparaten direkt den Übergang vom normalen Farbensinn in das blaugelbblinde Skotom prüft (s. später S. 240). Kontrolluntersuchungen mit mehreren anderen Methoden sind trotzdem sehr erwünscht. Im folgenden sind eine Reihe Untersuchungsmethoden angeführt, die früher oder noch jetzt zur Diagnose angeborener Farbensinnstörungen am häufigsten in der Praxis angewendet wurden. Außer ihnen und der Perimeteruntersuchung ist auch die Prüfung mit der Rayleighgleichung ein sehr wichtiges wenn auch nicht allein entscheidendes Hülfsmittel (vergl. hierüber S. 133).

Verhalten der Tritanopen gegenüber der Wollprobe.

Die Wollprobe ist schon wegen des Umfanges der einzelnen Bündel eine sehr unsichere Methode.

Die Grün- und Rotprobe, wie sie zur Diagnose der angeborenen Rot- und Grünblindheit vorgenommen wird, ist für die Tritanopie ohne Bedeutung. Sie werden auch meist von den frischeren Fällen mit nicht zu herabgesetzter Sehschärfe richtig bestanden.

Nach Holmgreen kommt das Auseinanderhalten gelb- und blauroter Proben in Betracht, sowie gelb- und blaugrüner. Außerdem mag man blaue Proben vorlegen, um festzustellen, inwieweit hierzu andersfarbige Proben gelegt werden; es dürfte sich hierbei im wesentlichen um violette und grüne Wollbündel handeln.

Oftmals kann der Erfolg ein negativer sein. Der Patient besteht alle Proben so gut wie fehlerlos. Der Grund hierfür liegt einmal darin, daß das Skotom im Gesichtsfeld zu klein ist, so daß die Objekte noch teilweise mit normal funktionierender Netzhaut gesehen werden. Zweitens muß nochmals betont werden, daß das Unterscheidungsvermögen der Tritanopen für Farbennuancen zwischen Rot bis Blaugrün ja ein gutes sein kann, wenn auch der farbige Eindruck teilweise ein anderer ist als für das normale Auge. So bestand ein von mir beobachteter sicher Tritanopischer stets die Wollproben fehlerlos.

Bei anderen Patienten zeigt sich die mangelnde Fähigkeit, blaue und violette Bündel zu unterscheiden, bald.

Fall 2 von Collin und Nagel (31) = S. Fingerzählen in 2 m in- infolge Neuroretinitis albuminurica. Dem Verhalten bei der Untersuchung nach mußte die Diagnose auf erworbene Violett- bezw. Blaublindheit gestellt werden. Die Prüfung mit spektralen Mischungsgleichungen konnte bei der Herabsetzung des Sehvermögens nicht vorgenommen werden. Die Woll-

proben wurden fehlerlos bestanden, nur blaue und violette Bündel schlecht unterschieden, obwohl nach Angabe der Patientin sich beide Farben wesentlich voneinander unterscheiden sollten.

In Fällen mit länger bestehender Tritanopie, wobei häufig die Sehschärfe schon stärker herabgesetzt ist, besonders bei Ablatio retinae, nimmt das Skotom im Gesichtsfeld eine größere Ausdehnung an.

Dann zeigen sich auch bei der Wollprobenuntersuchung die entsprechenden Störungen deutlich. Es werden jetzt die Wollbündel fast nur noch im Sinne zweier Gruppen sortiert, in rote und grüne. Zur ersteren werden in der Regel die gelben, zu letzteren die blauen und violetten gelegt [Cohn (15), Magnus (9)].

Beispiel: Fall von Cohn, S. = $^1/_{16}$ infolge Ablatio retinae. Keine Prüfung mit spektralen Mischungsgleichungen. Bei der Wollprobenuntersuchung werden gelegt:

zu Hellrot: Dunkelrot, Rosa, Violett;
zu Gelb: Rosa, Gelb;
zu Grün: Grün, Blau;
zu Dunkelblau: Dunkelgrün, Hellgrün, Braungrün, Dunkelgrau;
zu Hellblau: Hellgrün, Violett;
zu Violett: Dunkelblau, Braungrün.

Besonders in weit vorgeschrittenen Fällen von Netzhautablösung findet man zuweilen, daß schließlich nur noch eine farbige Gruppe zusammengelegt wird, nämlich die rote, während die grünen, blauen und violetten und gelben Farben farblos bezw. grau und schwarz erscheinen. Wir haben es dann mit anderweitigen Farbensinnstörungen zu tun, die zu der Tritanopie hinzugetreten sind (Köllner, Magnus).

Die Prüfung mit farbigen Pulvern ergibt ähnliche Befunde (Cohn, 15), wie die Wollprobe.

Stillings Tafeln.

Wegen des durch den pathologischen Prozeß bedingten variablen Charakters der erworbenen Tritanopie stellen die Stillingschen Tafeln im allgemeinen keine vollkommen zuverlässige Methode dar, doch sind sie für Kontrolluntersuchungen recht empfehlenswert.

Nach Stilling soll — mir steht die 12. Auflage der Tafeln zur Verfügung — Tafel 11 und 12 nicht gelesen werden, dagegen alle übrigen. Die erstere Tafel besteht aus Tüpfeln in verschiedenen Tönen von Rot (gelbrot und violettrot, welche ja Verwechselungsfarben darstellen S. 121), die 12. Tafel zeigt grüne zwischen blauen Flecken.

Diejenigen Fälle, bei denen die Farbensinnstörung noch verhältnismäßig kurze Zeit besteht, bei denen die Sehschärfe noch nicht erheblich beeinträchtigt ist und keine weiteren komplizierenden Farbensinnstörungen eingetreten sind, scheinen sich in der von Stilling geforderten Weise zu verhalten.

Patient M. mit normalem Sehvermögen. Die Tritanopie ist mit spektralen Mischungsgleichungen nachgewiesen. In ca. $1^1/_2$ m Entfernung liest er Tafel I—X fehlerlos, während er Tafel XI und XII nicht entziffern kann.

In anderen Fällen wurden wieder alle Tafeln fehlerlos gelesen (Patient I von Nagel und Collin (31).

Besteht die Tritanopie längere Zeit und sinkt das Sehvermögen, so kann ziemlich frühzeitig der Fall eintreten, daß alle Tafeln nicht mehr entziffert werden können, während sich mit anderen Untersuchungsmethoden noch ohne Schwierigkeit die charakteristischen Erscheinungen der Farbensinnstörung nachweisen lassen, eine Beobachtung, die ich wiederholt machen konnte (vergl. auch Cohn 15).

Nagels Farbentafeln.

Da die Nagelschen Tafeln nicht für Blaugelbblinde berechnet sind, so können sie für die Diagnose kaum in Frage kommen. Wegen ihrer großen Verbreitung will ich sie hier erwähnen.

In der Tat wird die Probe von Patienten mit guter Sehschärfe in der Regel richtig bestanden. Bemerkenswert ist dabei, daß die Patienten nicht das bekannte Verhalten der anomalen Trichromaten zeigten, trotzdem sie, wie später erwähnt wird, bei der Untersuchung mit dem Anomaloskop mit dem protanomalen Typus Ähnlichkeit haben.

In Fällen mit stark herabgesetztem Sehvermögen bezw. mit weiteren Farbenstörungen versagen schließlich auch die Nagelschen Tafeln. Es werden dann die blaßfarbigen Punkte nicht mehr als farbig erkannt, während in der Regel die ausgesprochen roten Punkte am längsten wahrgenommen werden. Hierin ist natürlich kein spezifisches Verhalten der Blaugelbblinden zu erblicken, sondern es bedeutet nur, daß der Rotgrünsinn bezw. der gesamte Farbensinn bereits schwer alteriert ist.

Nagel-Köllners Farbengleichungsapparat.

Hier handelt es sich lediglich um die Frage, inwieweit und unter welchen Bedingungen Gleichungen erzielt werden können. Die Art der Objekte bedingt die Möglichkeit zweier verschiedener Gleichungen, durch die sich der Blaugelbblinde vom Normalen unterscheiden könnte.

1. Gleichung zwischen gelb und weiß,
2. Gleichung zwischen blau und grün.

Die Gelbweißgleichung wird von Patienten mit guter Sehschärfe und ohne Komplikationen häufig nicht angenommen, die gelbe Scheibe erscheint zu rötlich. Dies sind aber gerade die diagnostisch wichtigen Fälle. Erst wenn das Sehvermögen sinkt und weitere Farbenstörungen — z. B. schlechtes Erkennen grüner Objekte — auftreten, wird häufig eine Gelbweißgleichung möglich, (natürlich nach Regulierung der Helligkeit der Objektscheiben mittels der Schieber des Apparates).

Bei 40 Untersuchungen, die ich bei Netzhautablösungen am Farbengleichungsapparat vornahm, hatte ich die klinische Diagnose (mit größter Wahrscheinlichkeit) auf erworbene Blaugelbblindheit gestellt. Dabei war 13 Mal die Gleichung zwischen gelbem und weißem Objekt angenommen worden. Aber unter diesen 13 Fällen zeigte sich 11 Mal schon eine weitere Störung des Farbensinns darin, daß auch zwischen dem grünen und weißen Objekt Gleichungen erzielt werden konnten.

Bei der Grünblaugleichung verhält es sich im großen und ganzen umgekehrt wie bei der Gelbweißgleichung.

Der größere Teil der frischeren Fälle mit guter Sehschärfe nimmt die Grünblaugleichung an. Dabei muß natürlich das grüne Feld entsprechend verdunkelt werden.

In einem anderen Teil der Fälle bleibt allerdings ein Farbenunterschied bestehen, besonders wenn man das mehr gelbliche Grün des Apparates (nicht das „Eisenbahngrün") benutzt.

Beispiel: Älteres Macula-Ödem des linken Auges mit zurzeit normaler Sehschärfe. Auf dem rechten Auge besteht normaler Farbensinn; links wurde mit Spektraluntersuchung sicher Blaugelbblindheit nachgewiesen. Bei Betrachten der Scheiben des Nagelschen Farbengleichungsapparates ergaben sich folgende Unterschiede:

Objekteinstellung	Krankes Auge	Gesundes Auge
Rot—Dunkelrot	Unklarer als rechts	Normal
Rot—Gelb	Rot—Grau	„
Gelb—Weiß	Grau—Grünlich	„
Grün—Weiß	Normal	„
Grün—Blau	Grün—grün, aber verschiedene Nuancen, keine Gleichung	„ (Grün—blau)

In den fortgeschrittenen Fällen, z. B. von Netzhautablösung, gelingt die Gleichung häufig nicht, da die grüne Scheibe neben der blauen farblos gesehen wird, wiederum wahrscheinlich infolge Störungen auch innerhalb der Rotgrünempfindung.

Beispiel: Häufig findet man bei der Untersuchung pathologischer Fälle folgende Angaben:

Einstellung:	Bezeichnung:
Rot — Dunkelrot	normal
Rot — Gelb	Rot-Weiß
Gelb — Weiß	Gleichung, beides grau
Gelb — Grün	Gleichung, beides grau
Grün — Weiß	Gleichung, beides grau
Grün — Blau	Weiß — Grün oder Weiß — Blau.

Aus derartigem Befunde kann keine bestimmte Diagnose gestellt werden. Es kann sich ebensogut um die progressive Rotgrünblindheit allein handeln oder aber um eine Tritanopie mit Störung der Rotgrünempfindung. Daher sind weitere Untersuchungen notwendig.

An dem Gleichungsapparat kommt also für die Diagnose vor allem die Annahme von Gleichungen zwischen Blau und Grün in Betracht; weiterhin auch zwischen Gelb und Weiß, letztere aber nur, wenn gleichzeitig alle weiteren Einstellungen und Kombinationen als verschiedenfarbig abgelehnt werden. Ablehnen sämtlicher Gleichungen, auch zwischen Grün und Blau beweist noch nicht, daß keine Tritanopie vorliegt.

Der Farbenkreisel.

Der Farbenkreisel eignet sich besonders gut für diagnostische und Demonstrationszwecke, um Gleichungen zwischen verschiedenen Farben bezw. Farbengemischen herzustellen. Außerdem gestattet er eine gewisse Messung der zur Gleichung erforderlichen Farbenmengen.

Mit seiner Hülfe läßt sich noch am ehesten ein Urteil darüber gewinnen, ob dichromatisches Sehen vorliegt oder nicht.

Bei der Entfernung des Beobachters von der rotierenden Scheibe ist vor allem die Ausdehnung des blaugelbblinden Skotoms zu berücksichtigen.

Beispiele: 1. Herr M. hat normales Sehvermögen auf beiden Augen. Dabei ist das eine Auge infolge Netzhauterkrankung tritanopisch geworden. Die Beobachtung am Farbenkreisel geschieht in einer Entfernung von 2 m. Heidelberger Papier.

Es wird angenommen:

80^0 bläulichgrün + 280^0 schwarz = 360^0 cyanblau,

43^0 bläulichgrün + 317^0 schwarz = 360^0 violett,

letztere Gleichung jedoch nur in Entfernung über 3 m; in geringerem Abstande wird eine Farbendifferenz bemerkt.

2. Herr A. nimmt fast in demselben Verhältnis Gleichungen zwischen Bläulichgrün, Cyanblau und Violett an. Eine Farbendifferenz zwischen Grün und Violett wird auch aus nächster Nähe nicht von ihm wahrgenommen. (Sehvermögen $^1/_4$ des normalen, die Herabsetzung ist teilweise durch diffuse Glaskörpertrübungen bedingt.)

Farbige Schatten.

Erzeugt man durch Einschalten farbiger Gläser vor eine Lichtquelle einen zu dem Glase komplementär gefärbten Schatten beispielsweise eines Stabes, so kann man ebenfalls die Farbenstörung besonders bei gelbem und blauem Lichte nachweisen und die geringe Reizwirkung kurzwelliger Strahlen erkennen. Dabei werden teilweise die durch blaue und violette Gläser hervorgerufenen komplementären Schatten gar nicht von dem Blaugelbblinden wahrgenommen.

Beispiel: Fall Cohns mit Ablatio retinae. Aus den Untersuchungsbefunden mit Pigmenten geht fast mit Sicherheit hervor, daß eine erworbene Blaugelbblindheit vorliegt, und zwar handelt es sich um einen fortgeschrittenen Fall, bei dem bereits Störungen auch im Erkennen der anderen Farben aufgetreten sind. Bei der Schattenprobe werden bezeichnet:

Bei rotem	Glase: Grund	rot,	Kontrastschatten	grün,
„ gelbem	„	„ rot,	„	grau,
„ grünem	„	„ grün,	„	rötlich,
„ blauem	„	„ grün,	„	braunrot
„ violettem	„	„ schwarzgrün,	„	nicht sichtbar.

Es ist deutlich erkennbar, wie bei blauem und violettem Glase die Sichtbarkeit des Schattens abnimmt.

Die Ergebnisse der Mischung spektraler Lichter.

Der Nachweis der erworbenen Tritanopie, bezw. die Feststellung des dichromatischen Farbensystems, durch systematische Zweilichtermischung (vergl. S. 35) ist bisher in folgenden Fällen erfolgt:

10 Untersuchungen an ebensoviel Fällen von König (24),
9 Untersuchungen an 7 Fällen von Köllner (33, 34, 78).

Die Aichung der erworbenen Tritanopie.

Die quantitative Bestimmung der Lichtmischungsverhältnisse bezw. die Aichung (vergl. das S. 36 über Aichung Gesagte) hat bei der erworbenen Tritanopie bisher durchaus übereinstimmende Ergebnisse gezeitigt, wenn man von kleineren gleich näher zu besprechenden Abweichungen absehen will (Köllner, König). Der Vollständigkeit halber sind die Zahlen der Befunde mitgeteilt (Tabelle I und II). Übersichtlicher sind die graphischen Darstellungen in Kurvenform (vergl. S. 37). In üblicher Weise sind in einem Koordinatensystem als Abscissen die Wellenlängen der spektralen Lichter, als Ordinaten die Aichwerte eingetragen, vergl. nebenstehende Figur 17 u. 18.

Die annähernde Übereinstimmung der Kurven während ihres ganzen Verlaufs bei allen geaichten Systemen beweist hinlänglich, daß es sich bei der erworbenen Tritanopie um ein gleichsam typisches Far-

b e n s y s t e m h a n d e l t, das darin an die angeborenen dichromatischen Systeme, Protanopie und Deuteranopie, erinnert. Natürlich können an die Bestimmungen bei erkrankten Augen niemals dieselben Anforderungen bezüglich Genauigkeit gestellt werden, wie bei den angeborenen Systemen.

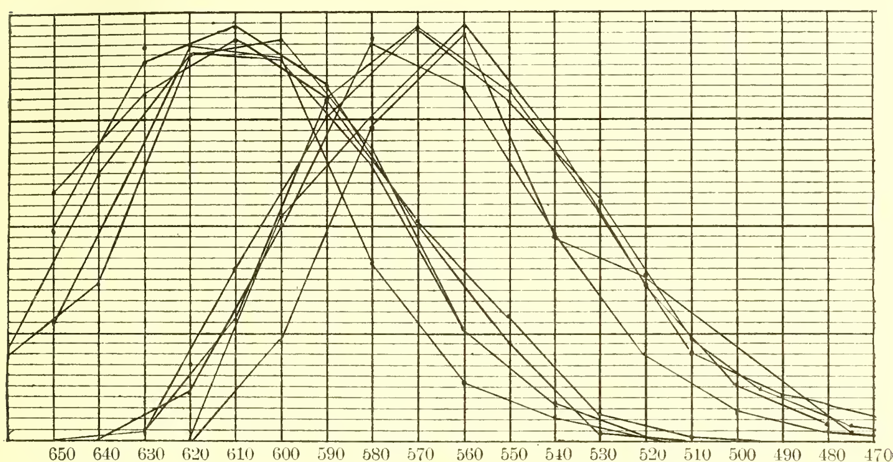


Fig. 17.
5 tritanopische Farbensysteme Königs, den von ihm angegebenen Aichwerten entsprechend gezeichnet.

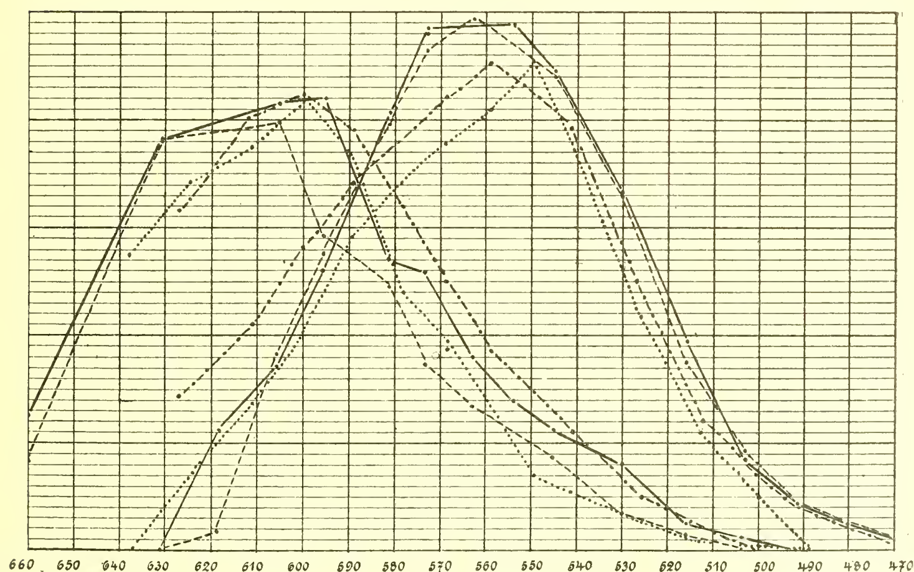


Fig. 18.
Von mir aufgenommene tritanopische Farbensysteme. Die gefundenen Aichwerte sind mit einem bestimmten Faktor multipliziert, so dass die Gipfel der einander entsprechenden Kurven annähernd in gleicher Höhe liegen wie bei König.

——— Kurven der 1. Untersuchung } des Patient VI.
– – – – – Kurven der 2. Untersuchung } des Patient VI.
.... Kurven der 3. Untersuchung } des Patient VI.
—.—.—.—. Kurven des Patient VII.

Tabelle I.

Die Aichwerte der 5 Fälle König s von erworbener Tritanopie.

Wellenlänge des homogenen Lichtes in $\mu\mu$	Aichwerte des langwelligen (roten) Mischlichtes					Aichwerte des kurzwelligen Mischlichtes				
	I. Fall	II. Fall	III. Fall	IV. Fall	V. Fall	I. Fall	II. Fall	III. Fall	IV. Fall	V. Fall
660			3,09	3,30						
650	9,24	7,74			4,32	—	—			
640			5,84	9,96				—	—	
630	12,90	13,14				0,26	0,40			
620			14,44	14,34	14,70			2,75	—	—
610	14,88	15,30				4,53	6,44			
600			14,20	14,88	14,34			8,08	8,33	0,37
590	12,72	13,20				12,78	12,18			
580			10,31	10,80	6,60			14,79	12,00	11,69
570	8,22	8,04				15,47	15,26			
560			4,18	4,20	2,16			13,14	15,47	15,07
550	4,68	3,66				13,07	14,56			
540			1,43	1,38	0,90			7,70	11,00	7,60
530	1,02	0,32				8,53	8,89			
520			0,36	0,18	0,30			3,25	5,67	6,20
510	0,17	0,13				3,27	3,78			
500			0,042	0,06				1,15	2,13	
495	0,09	0,06				1,74	1,75			
480			—	—				0,44	0,74	
475	—	—				0,67	0,56			0,74
460								0,09		
450						0,07				
440								0,02		
430						0,02		0,01		

(König benutzte das Dispersionsspektrum des Gaslichtes. Seine Werte sind durch Umrechnung annähernd auf die gleiche maximale Höhe gebracht worden.)

Daher können auch aus den Abweichungen, die sich innerhalb bestimmter Grenzen finden, keine Schlüsse gezogen werden. Sie liegen im Bereiche der Fehlerquellen, die sich bei der gewählten Darstellungsform bemerkbar machen müssen. Es handelt sich hier zum großen Teil nicht um Präzisionsbestimmungen, d. h. Mittelwerte aus zahlreichen Einstellungen.

Außerdem wurde schon auf die häufigen Störungen auch im Bereiche der Rotgrünempfindung hingewiesen. Es ist sehr leicht möglich, daß ein Teil der Schwankungen der Werte und Kurven hierin seine Erklärung findet (vergl. z. B. auf Tabelle II die 3 Untersuchungen an Fall VI). Deswegen erscheint es auch zweifelhaft, ob es gelingen würde, durch weitere Aichwertbestimmungen in Zukunft hier genauere Resultate zu bekommen. Die gleichzeitige verschiedenartige Störung innerhalb des Rotgrünsinnes mag hier immer eine gewisse Grenze setzen.

Bei der Prüfung zeigt sich übrigens, daß die Aichwertbestimmungen sich im allgemeinen viel genauer vornehmen lassen, wie bei der später zu besprechenden erworbenen Rotgrünblindheit. Die dort vorhandene große Unempfindlichkeit der Patienten gegenüber Helligkeitsdifferenzen wurde von mir auch dann vermißt, wenn die Sehschärfe nicht normal war. Bestimmte theoretische Schlüsse hieraus ziehen zu wollen, ist zwar sehr verlockend, erscheint mir jedoch vorläufig noch verfrüht.

Tabelle II.
Die von mir gefundenen Aichwerte bei erworbener Tritanopie.

Wellenlänge des homogenen Lichtes in μμ	Aichwerte des langwelligen Mischlichtes				Aichwerte des kurzwelligen Mischlichtes			
	VI. Fall, 1. Untersuchung	VI. Fall, 2. Untersuchung	VI. Fall, 3. Untersuchung	VII. Fall	VI. Fall, 1. Untersuchung	VI. Fall, 2. Untersuchung	VI. Fall, 3. Untersuchung	VII. Fall
659,5	12,5	3			—	—		
637,8			33,5				—	
631,1	38	13			—	—		
624,5			41,1	28,0			28,9	57,0
618	35,8	12,8			44,2	6,2		
611,5			44,8	35,6			55,2	84,4
605,3	41,7	13,4			68,3	61,6		
600			49,3	37,5			80,7	112,5
595,2	42,1	9,7			107,9	92,3		
589,3			43,7	22,7			116,3	137,3
581	26,7	8,2			163,3	131,8		
578,2			28,4				136,6	
573	25,7	5,8			194,3	154,2		
568			23,2	23,2			151,8	167,8
563,3	18	4,6			192	165,4		
558,8			16,3	16,7			163,7	178,3
554,3	14,1				195,9			
549,8			8,4				181,6	
545,6	11,1	2,9			178,9	147,1		
541,6			6,7	9,7			148,3	155,3
530	8,2	1,2			131,8	108,8		
526,4			3,3	4,5			86,7	100,5
516	2,4	0,66			77,2	59,3		
513			1,1	1,5			43,9	48,5
503	1,1	0,16			33,9	31,3		
500			0,5	0,2			19,5	30,0
491,5	—	—			17,5	14		
488,9			—	—			1	15
478	—	—			9	4		

(Die Bestimmungen sind an dem Dispersionsspektrum des Nernstlichtes ausgeführt.)

Stellung der erworbenen Tritanopie zu den angeborenen dichromatischen Systemen, besonders Protanopie und Deuteranopie.

Bei der quantitativen Untersuchung der Protanopie und Deuteranopie hatten sich drei typische und konstante Aichwertkurven ergeben (S. 39) nämlich die Deuteranopen-W-Kurve, die Protanopen-W-Kurve und die bei beiden Systemen gemeinsam verlaufende K-Kurve.

Wenn nun auch ein genauerer Vergleich der Aichungsergebnisse bei der erworbenen Tritanopie mit den Präzisionsbestimmungen bei der angeborenen Farbenblindheit im allgemeinen mißlich ist, so zeigt sich doch auf den ersten

Blick eine deutliche Übereinstimmung mit der Protanopie und Deuteranopie: Die beiden Aichwertkurven entsprechen ungefähr in Lage und Form der Protanopen- und Deuteranopen-W-Kurve, während deren K-Kurve kein Analogon bei der Tritanopie hat (vergl. Fig. 17 u. 18 mit Fig. 9 auf S. 39)[1].

So liegt nach v. Kries der Gipfel der langwelligen Kurve beim Deuteranopen bei 603 $\mu\mu$, während die erste der beiden Kurven des Tritanopen zwischen 600 und 610 $\mu\mu$ ihre höchste Stelle erreicht.

Die Protanopen-W-Kurve gipfelt nach v. Kries bei 571 $\mu\mu$, während der Scheitel der zweiten Kurve der erworbenen Tritanopie schwankt zwischen 570—560 $\mu\mu$, (er wurde nur zweimal von mir bei 550 $\mu\mu$ gefunden).

Eine genauere Übereinstimmung wird man kaum erwarten können, wenn man bedenkt, daß es sich bei der erworbenen Tritanopie um ein inkonstantes, labiles Farbensystem handelt, bei dem Änderungen und Abweichungen von den Aichwertkurven jederzeit mit einer beginnenden Störung auch der Rotgrünempfindung im Zusammenhang stehen können.

Man kann schon hieraus mit Wahrscheinlichkeit auch die erworbene Tritanopie als Reduktionsform des normalen Farbensystems mit demselben Recht ansehen, wie die Protanopie und Deuteranopie.

Als weiteren Beweis hierfür kann man noch die Fälle anführen, bei welchen eine erworbene totale Farbenblindheit infolge Netzhauterkrankung bei angeborener Farbenblindheit entstanden war. Denkt man sich zu einer Protanopie und Deuteranopie eine erworbene Tritanopie hinzutretend, so würde von deren beiden Aichwertkurven theoretisch die zweite, welche vorwiegend dem Blau des Spektrums angehört, in Wegfall kommen müssen. Die Folge wäre, daß nur noch eine Kurve übrigbliebe, also ein monochromatisches Farbensystem resultierte. Dabei müßte die Helligkeitsverteilung dieser einen, allein übriggebliebenen Empfindung der langwelligen Aichwertkurve (W-Kurve) des ursprünglichen dichromatischen Farbensystems entsprechen.

Die beiden von König und mir beobachteten Fälle totaler Farbenblindheit infolge Netzhauterkrankung (s. S. 197) entsprechen vollkommen diesen Voraussetzungen. Die Helligkeitsverteilung entsprach in dem einen Falle der langwelligen Kurve des Deuteranopen, im anderen der des Protanopen.

Wenn die erworbene Tritanopie eine derartige Reduktionsform des normalen Farbensinnes darstellt, so müssen die für das normale Sehorgan geltenden Gleichheitsbeziehungen auch für das tritanopische Gültigkeit haben. Wir werden gleich sehen, daß diese Voraussetzung schon für die Rayleigh-Gleichung in der Regel nicht zutrifft. Vielleicht handelt es sich jedoch hierbei um begleitende physikalische Erscheinungen.

---

[1]) Man könnte nun die theoretische Frage aufwerfen, warum ist die dritte Aichwertkurve nicht mehr nachweisbar; ist sie völlig in Verlust geraten, haben die perzipierenden Elemente an ihrer Gesamterregbarkeit etwa einen Verlust erlitten? Oder ist sie nur mit der zweiten zu einer verschmolzen? Dann wäre die Gesamterregbarkeit der perzipierenden Elemente ungestört, nur die Differenzierung in Teilerregungen hätten gelitten. Beide Möglichkeiten sind vorhanden, da die dritte Kurve bei der Aichung so niedrige Werte haben würde, daß diese gegenüber den hohen der anderen Kurven wenig in das Gewicht fallen. Aber die ganze Frage ist überhaupt nur dann diskutabel, wenn man die Aichwertkurven mit den Erregkarkeitskomponenten des betreffenden Sehorganes identifiziert. Da wir jedoch in ihnen weiter nichts sehen wollen als den graphischen Ausdruck für die quantitative 2-Lichtermischung (vergl. S. 37), so fallen alle derartige Erörterungen von selbst (s. dagegen Abschnitt IV.)

Verhalten gegenüber der Rayleighgleichung.

Man müßte eigentlich erwarten, daß in gleicher Weise wie bei allen angeborenen dichromatischen Systemen der Tritanop die Rayleighgleichung annimmt, welche der Farbentüchtige einstellt. Je nach dem Verhalten der Aichwertkurven dürfte er sich sogar in der Einstellungsbreite des Rotgrüngemisches vom Normalen kaum unterscheiden.

In Wirklichkeit entspricht der erworben Tritanopische diesen theoretischen Forderungen nur teilweise; er verhält sich nämlich gegenüber der Rayleighgleichung folgendermaßen:

1. In der größten Mehrzahl der Fälle wird die Rayleighgleichung, welche für das normale trichromatische Farbensystem gilt, nicht angenommen. Das Feld mit dem Rotgrüngemisch sieht dem Tritanopen zu grün aus und es muß dem Gemisch mehr Rot zugeführt werden, um wieder die völlig gleiche Farbenempfindung zu erzielen, wie die Feldhälfte mit dem Natriumgelb.

Der Grad dieser vermehrten Rotzumischung ist ein ziemlich konstanter. Am Anomaloskop von Nagel geht die Einstellung meist etwa 10 (6—14) Teilstriche über die des Normalen hinaus (Köllner 33, 40) und nähert sich der Einstellung des protanomalen (rotanomalen) Trichromaten.

In einer Beziehung verhielten sich aber die erworben Tritanopischen doch anders, wie die Anomalen, sie ließen das zögernde, und schwankende Verhalten bei den Einstellungen und deren Beurteilung vermissen, ebenso fehlten ausgesprochene Kontrasterscheinungen. Ihr Verhalten ähnelte eben im ganzen mehr dem der Normalen.

Eine normale Rayleighgleichung habe ich in einem sicher erworben tritanopischen Auge bisher nur einmal beobachtet, dagegen zweimal bei tritanopischen Systemen, bei denen dahingestellt bleiben soll, ob sie erworben oder angeboren waren (wahrscheinlich das letztere). Jedenfalls stellt die Abweichung von der Gleichung kein konstantes Symptom tritanopischer Farbensysteme dar.

2. Die Einstellungsschärfe des Rotgrünmischungsverhältnisses weicht nur unerheblich von der des Normalen ab (vorausgesetzt, daß die Sehschärfe nicht zu stark herabgesetzt ist, unter $^1/_6$—$^1/_{10}$). Am Anomaloskop beträgt sie wohl durchschnittlich bis zu 4 oder 5 Teilstriche der Stellschraube. Damit steht die erworbene Tritanopie im absoluten Gegensatz zu der erworbenen Rotgrünblindheit; denn hier nimmt die Einstellungsbreite des Rotgrüngemisches frühzeitig beträchtlich zu (s. S. 160).

Findet man trotzdem bei einem zweifellos tritanopischen Farbensystem eine auffallende Verbreiterung der Einstellung des Rotgrün-Mischungsverhältnisses, so handelt es sich wohl schon um merkliche Störungen im Bereiche auch der Rotgrünempfindung.

Das charakteristische Verhalten des erworben Tritanopischen gegenüber der Rayleighgleichung hat eine praktische, diagnostische Bedeutung. Die vermehrte Rotzumischung zum Rotgrüngemisch kann nämlich noch nachweisbar sein, nachdem bereits alle anderen Symptome der erworbenen Tritanopie geschwunden sind. Sie kann sogar einzig und allein nachweisbar sein, gleichsam als rudimentäre Tritanopie und man darf dann mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf einen exsudativen oder transsudativen Vorgang innerhalb der Netzhaut schließen. Natürlich muß man die Gewißheit haben, daß es sich um eine erworbene Störung handelt. Der Nachweis der Einseitigkeit genügt nicht, denn es ist auch angeboren eine ähnliche Differenz zwischen den beiden Augen eines Normalen mehrfach beobachtet worden (Samojloff, Köllner).

Ob die Ursache für das auffällige Verhalten der erworbenen (nicht der angeborenen!) Tritanopen eine physiologische ist, oder eine rein physikalische (etwa Absorption), darüber läßt sich zur Zeit eine sichere Entscheidung noch nicht treffen.

Die Beziehungen zu anderen Funktionsstörungen.

Erworbene Tritanopie und Sehschärfe.

Die Sehschärfe kann während der ganzen Dauer der Tritanopie vollkommen normal bleiben. Auf keinen Fall besteht ein direkter Zusammenhang zwischen einer Herabsetzung der Sehschärfe und dem Auftreten einer erworbenen Tritanopie. Hierin unterscheidet sich die Tritanopie oder Gelbblaublindheit durchaus von der erworbenen Rotgrünblindheit (wenigstens soweit sie durch Erkrankung der peripheren Sehbahnen bedingt ist). Bei dieser ist nämlich die Sehschärfe stets in gewissem Grade beeinträchtigt.

Erworbene Tritanopie und Dunkeladaptation.

Die erworbene Tritanopie wird in der Regel, vielleicht auch immer, von einer beträchtlichen Störung der Dunkeladaptation begleitet. Es tritt also eine Nachtblindheit (Hemeralopie) auf. Da sie sich nur auf einen oft kleinen Teil des Gesichtsfeldes erstreckt, braucht sie dem Patienten selbst nicht merkbar oder störend zu sein. Nachweisen läßt sie sich schon dadurch, daß man am Perimeter nach etwa ½stündiger Dunkeladaptation das Gesichtsfeld

mit einem lichtschwachen Objekt aufnimmt. Bei der Netzhautablösung findet man z. B. einerseits recht häufig derartige Adaptationsstörungen, anderseits in der Mehrzahl der Fälle die Symptome der „Blaublindheit“, hinter der sich anscheinend meist auch ein tritanopisches (also dichromatisches) Farbensystem verbirgt (vergl. S. 239).

Interessant ist, daß auch umgekehrt bei hochgradiger Adaptationsstörung z. B. der akuten Hemeralopie (gleichgültig aus welcher Ursache) Farbensinnstörungen beobachtet worden sind (Hess 41, Köllner 44), welche sich nicht durch den Ausfall des Purkinjeschen Phänomens in den extra-fovealen Netzhautpartien erklären lassen, zwar keine echte Tritanopie, immerhin aber Störungen, welche mit ihr zuweilen eine gewisse Ähnlichkeit haben.

So beobachtete ich bei akuter Hemeralopie z. B. wiederholt das gleiche „Grünlichsehen“, das die Tritanopie so häufig begleitet. Blaue Farben erschienen unter gewissen Bedingungen sogar ausgesprochen „grün“, ebenso wie wir es bei der Tritanopie finden. Außerdem fand sich bei einem Fall eine deutliche Unfähigkeit auch foveal blaugrüne, blaue und violette Farbentöne zu unterscheiden (sowohl bei Betrachtung homogener Lichter wie Pigmentfarben). Trotzdem ergab die Untersuchung, daß kein dichromatisches Farbensystem vorlag. Um eine erworbene Tritanopie konnte es sich also nicht handeln. Ob wir in einem derartigen Falle etwa eine Vorstufe zur Tritanopie zu erblicken haben, will ich dahingestellt sein lassen.

Mit derartigen Farbensinnstörungen darf natürlich nicht verwechselt werden, daß jeder Hemeralop im Vergleich zu einem Normalen ohne weiteres als „Blaublind“ imponieren muß, wenn man nicht besondere Vorsichtsmaßregeln trifft. Denn der Fortfall des Purkinjeschen Phänomens (S. 21) bedingt natürlich daß dem Hemeralopen blaue Farben schon bei einer mäßig herabgesetzten Beleuchtung unsichtbar, also schwarz werden können, wenn sie der Normale noch deutlich farbig und hell sieht (s. auch unter Hemeralopie).

Zweifellos sind also erworbene Tritanopie und Adaptationsstörungen zwei engverwandte Funktionsstörungen des Sehorganes (vergl. auch Krienes 42). Unrichtig ist es aber einen untrennbaren Zusammenhang zwischen der Tritanopie (Gelbblaublindheit) ganz allgemein und einer hochgradigen Herabsetzung der Dunkeladaptation anzunehmen. Denn es sind zwei eingehend untersuchte Fälle von Tritanopie bekannt, bei welchen die Farbensinnstörung zum mindesten entsprechend der Netzhaut um die Makula herum, wahrscheinlich im ganzen Gesichtsfeld bestand, ohne daß eine erhebliche Störung der Adaptationsfähigkeit bestand (Piper 87, Köllner 91).

Es sind daher wahrscheinlich Adaptationsstörung und erworbene Tritanopie als zwei parallele Vorgänge aufzufassen, welche durch bestimmte pathologische Vorgänge innerhalb der Netzhaut (meist exsudative) in der Regel gleichzeitig hervorgerufen werden. Dabei

scheint die Adaptationsstörung früher aufzutreten, als die Farbensinnstörung, bezw. — korrekter gesagt — eher nachweisbar zu werden.

Stellt man sich auf den Boden der v. Kriesschen Duplizitätstheorie (s. S. 99), so würde der pathologische Prozeß sich einmal an den Stäbchen, zum andern an den Zapfen der Netzhaut äußern. Jedenfalls lassen sich auch diese Erscheinungen mit der Theorie in Einklang bringen (Köllner 44).

Physikalische (Absorptions-) Erscheinungen bei der Tritanopie.

Bereits eingangs wurde erwähnt, daß man früher geneigt war, die ganze Gelbblaublindheit auf physikalischem Wege durch Absorption zu erklären. Wenn sich dies auch nach dem heutigen Stande unseres Wissens nicht mehr aufrecht erhalten läßt, so entsteht doch die Frage, ob nicht derartige Absorptionserscheinungen die Tritanopie häufig begleiten und die Erklärung für einige Symptome abgeben können, die zu dem Bilde des reinen dichromatischen Systems nicht recht passen.

Hierher gehören folgende Erscheinungen:

1. daß gelbe Lichter zuweilen bläulich, lila gesehen werden, daß Grün nicht selten Blau erscheint und ähnliches abweichendes Farbensehen;

2. die wechselnde, oft so hochgradige Verkürzung am violetten Ende des Spektrums;

3. das subjektive Farbensehen, besonders Grünsehen;

4. das abweichende Verhalten gegenüber der Rayleighgleichung.

Die Frage kann zur Zeit noch nicht entschieden werden. Das abweichende Sehen von gelben und grünen Farben, die Verkürzung des Spektrums und das subjektive Grünsehen ließe sich sehr einfach durch die Annahme eines gelblichgrünen bezw. bläulichen Mediums erklären, das dann innerhalb der Netzhaut herdförmig ausgebreitet wäre. Man wird unwillkürlich wieder an die Farbe der subretinalen Flüssigkeit bei Netzhautablösungen erinnert (Leber). Die Möglichkeit einer Durchtränkung auch der inneren Netzhautschichten liegt umso näher, als bei den Erkrankungen, bei denen die Tritanopie auftritt, wie Retinitis albuminurica usw. bekanntlich durchaus nicht der pathologische Prozeß sich auf die Stäbchen- und Zapfenschicht beschränkt. Ferner kann, wie bereits erwähnt, das Grünlichsehen auch zu einer Zeit beobachtet werden, wo das tritanopische Farbensystem sicher nicht mehr besteht, die Chromatopie also auch nicht bedingen kann.

Die vermehrte Rotzumischung bei der Rayleighgleichung (S. 133) ließe sich ebenfalls auf dem physikalischen

Wege erklären. Auch sie ist durchaus nicht an das Auftreten des dichromatischen Systems gebunden, sondern kommt auch ohne dieses vor, ebenso wie die Tritanopie umgekehrt bei normaler Rayleighgleichung bestehen kann.

So beobachtete ich die vermehrte Rotzumischung zu dem Rotgrüngemisch der Rayleighgleichung, die der Tritanop verlangt, dreimal bei verschiedenen pathologischen Prozessen (frische Chorioiditis, Retinitis albuminurica, Netzhautödem). Bei allen drei wurde aber gleichzeitig durch Spektralanalyse das Fehlen eines dichromatischen (tritanopischen) Farbensystems nachgewiesen (Köllner 40).

Die bisherigen Versuche zu entscheiden, ob es sich bei dem abweichenden Verhalten gegenüber Rayleighgleichung um physikalische oder physiologische Ursachen handelt, haben noch zu keinem sicheren Ergebnis geführt (Köllner 34, 40).

Nimmt man aber bei der Tritanopie begleitende Absorptionserscheinungen an, so sind sie jedenfalls in ihrem Auftreten nicht untrennbar an die Farbensinnstörung gebunden, wennschon sie in der Regel vereint vorkommen.

Man gelangt in diesem Falle bei einiger Überlegung zu der Annahme, daß beide gewissermaßen als verschiedene Grade ein und derselben Funktionsstörung aufgefaßt werden können, und daß der physikalische Vorgang gleichsam die Vorstufe zu der physiologischen Änderung der Erregbarkeit bildet oder wenigstens bilden kann.

Verhalten im Gesichtsfeld.

Das Charakteristische der erworbenen Tritanopie ist ihr fast stets herdförmiges Auftreten im Gesichtsfeld in Gestalt von Skotomen. Sie haben im wesentlichen folgende Eigenschaften:

1. Relative Skotome für weiße Objekte brauchen nicht an gleicher Stelle nachweisbar zu sein, wenigstens nicht bei heller Beleuchtung. Dagegen ist zuweilen ein Skotom für Weiß von einer tritanopischen Zone umgeben und kann dann ophthalmoskopisch einer Herderkrankung der Aderhaut oder Netzhaut mit ödematöser bezw. exsudativer Umgebung entsprechen.

2. An der Grenze der Skotome geht im allgemeinen die normale Farbenempfindung ziemlich scharf in die Tritanopie über. Dadurch wird die Untersuchung mit dem Perimeter wesentlich erleichtert. Man wird dabei daran erinnert, daß auch ophthalmoskopisch Exsudate bezw. Ödem der Netzhaut häufig scharf begrenzt erscheinen. Allerdings habe ich auch einige Male beobachtet, daß der Übergang in das Skotom ein so allmählicher war, daß der Nachweis kaum gelang.

3. Die tritanopischen Skotome sind in ihrer Größe sehr veränderlich. Sie schwanken von wenigen Grad Durchmesser bis zur Größe des ganzen Gesichtsfeldes. Wie sie in progressiven

Fällen an Ausdehnung zunehmen, können sie aber auch kleiner werden und schließlich vollkommen verschwinden, ohne eine Farbensinnstörung zurückzulassen. Kurz, die Tritanopie zeigt im Gesichtsfeld ein labiles Verhalten, das ebenfalls wieder an das Verhalten der Netzhautexsudate und Ödeme erinnert. In welchem Umfange sich diese Veränderlichkeit der Skotome vollzieht, hängt natürlich ganz von der zu grunde liegenden Erkrankung ab.

Bei der Prüfung des Gesichtsfeldes findet man, daß die zentralen Skotome die peripheren überwiegen. Das beruht natürlich z. T. darauf, daß nicht in allen Meridianen geprüft wird und kleinere periphere Skotome sehr leicht übersehen werden, ferner darauf, daß in der Peripherie feinere Veränderungen der Farbenwahrnehmung überhaupt schwerer festzustellen sind.

Trotzdem liegen aber die Skotome vorzugsweise zentral, d. h. entsprechend der Makula lutea. Nämlich selbst bei ausgedehnten gleichmäßigen Veränderungen des Augenhintergrundes (z. B. Retinitis specifica) entspricht oft die Farbensinnstörung an Ausdehnung keineswegs den sichtbaren Veränderungen vielmehr beschränkt sie sich auf die Gegend des hinteren Augenpols. Ähnliche Beobachtungen machte auch Simon (21) an Retinitis albuminurica. Auch bei Netzhautablösungen besteht meist ein zentrales tritanopisches Skotom, und zwar nicht selten von der peripheren Funktionsstörung, welche durch die Ablösung selbst bedingt ist, durch eine Zone mit normaler Farbenempfindung getrennt (Köllner 33).

Die Erscheinung hängt vielleicht mit einer erhöhten Vulnerabilität der Makulagegend zusammen, auf welche erst kürzlich wieder Krückmann (39) bei anderer Gelegenheit ebenfalls hingewiesen hat und die er auf die anatomischen Verhältnisse der Blutversorgung zurückführt.

Als besonderes Verhalten eines zentralen Skotoms will ich einen Fall von Netzhautablösung nach Eisensplitterverletzung erwähnen. Inmitten eines großen zentralen Skotoms, innerhalb dessen die blaublinde Störung des Farbensinnes bestand, war ganz in der Fovea wieder normale Farbenempfindung vorhanden. Ich wurde dabei an das sehr ähnliche ringförmige Auftreten der Berlinschen Trübung am hinteren Augenpole, wie es z. B. Lohmann[1]) kürzlich wieder mitteilte, erinnert.

Der Verlauf der Tritanopie.

Die Zeitdauer, innerhalb der die Tritanopie bestehen bleibt, ist sehr verschieden. Oft nur Wochen, kann man sie in

[1]) Lohmann, Über eine interessante Trübung des hinteren Augenpols. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1906, XLIV, p. 526.

manchen Fällen Jahre lang konstant nachweisen, je nach dem zugrundeliegenden Krankheitsprozeß.

Dabei können zwei Möglichkeiten eintreten, nämlich völlige Rückbildung oder Zunahme der Farbensinnstörung.

Im Falle einer Rückbildung nehmen die subjektiven Beschwerden des Patienten allmählich ab, das dichromatische Farbensystem verschwindet, um schließlich wieder dem normalen trichromatischen Sehen Platz zu machen.

Es leuchtet ein, daß die Wiederherstellung des normalen Farbensinnes nicht plötzlich erfolgen wird, sondern ebenso wie die subjektiven Beschwerden und die Veränderungen, die mit dem Augenspiegel wahrgenommen werden, allmählich. Vielleicht schiebt sich hier, ebenso wie bei der angeborenen Protanopie und Deuteranopie die protanomalen und deuteranomalen trichromatischen Systeme, ein „violettanomales" (tritanomales) als Übergang ein, wie auch Collin und Nagel vermuten. Auch an die Möglichkeit physikalischer (absorptiver) Einflüsse (S. 136) muß gedacht werden. Jedenfalls gibt es Fälle, die zwar ein trichromatisches Farbensystem aufweisen, aber ihren Angaben nach gewissermaßen in der Mitte zwischen normalem und tritanopischem Farbensystem zu stehen scheinen.

Beispiel: Retinitis diabetica. Die Sehschärfe war auf ½ der normalen herabgesetzt. Die klinische Diagnose ergab anscheinend Tritanopie. (Am Perimeter wurde das blaue Objekt zentral grün, das gelbe rein weiß genannt.) Bei der Prüfung mit Spektralfarben zeigte sich, daß kein dichromatisches System vorlag. Wurde dem Beobachter beispielsweise eine Gleichung zwischen einem Blaurotgemisch und homogenem Gelb eingestellt, wie sie von Tritanopen angenommen werden muß, so erkannte er mit dem gesunden Auge den Farbenunterschied der Felder in normaler Weise. Mit dem kranken wurde das gelbe Feld rein weiß, das blaurote nahezu weiß, aber doch leicht lila gefärbt gesehen; es war unmöglich, eine völlige Gleichung zwischen beiden zu erhalten. Dieselbe Beobachtung ließ sich bei anderen homogenen Farben machen. (Objektgröße 1—1½°.)

In einem anderen Falle fand ich als einzigen Rückstand der Tritanopie das charakteristische Verhalten gegenüber der Rayleighgleichung — die vermehrte Zumengung von Rot zum Rotgrüngemisch.

Nachdem bei 3 Untersuchungen innerhalb eines halben Jahres ein dichromatisches blaugelbblindes Farbensystem nachgewiesen war (Fall VI, Tabelle IIa S. 136), bestand bei einer 4. Prüfung wieder ein zweifellos trichromatisches Farben-

system, das sich in der kurzwelligen Hälfte des Spektrums vom normalen nicht mehr unterschied. Als dem Beobachter die früheren Gleichheitseinstellungen (z. B. gelb gegenüber einem Rotblaugemisch) gezeigt wurden, hielt er eine derartige Verwechslung für unmöglich. Bei der Prüfung mit der Rayleigh gleichung ließ sich dagegen nachweisen, daß, ganz in der früheren Weise, noch eine deutliche vermehrte Zumengung von Rot zum Rotgrüngemisch erforderlich war.

Gleichzeitig bestand übrigens auch noch andeutungsweise das fleckweise Grünsehen, das früher den Patienten sehr belästigt hatte.

Möglicherweise gehören auch die S. 135 erwähnten Farbensinnstörungen bei der Hemeralopie hierher.

Völlige Rückbildung einer vermutlichen Blaugelbblindheit ist klinisch auch von anderen Beobachtern (König, Simon, Bayer u. A.) wiederholt beobachtet worden. Der eben beschriebene allmähliche Rückbildungsvorgang wird bei der klinischen Untersuchung mit Pigmentfarben in der Regel verborgen bleiben. Die feinen Unterschiede lassen sich eben durch eine gröbere Prüfung nicht nachweisen. Daraus geht auch hervor, daß klinisch die genaue Abgrenzung des dichromatischen tritanopischen Systems nicht erforderlich ist und daß etwa unter der Bezeichnung erworbene „Blaublindheit" alle Grade der Störung zusammengefaßt werden können, auch diejenigen, wo noch ein trichromatisches Sehen besteht. Der klinische Begriff der Farbensinnstörung geht über den physiologischen eben hinaus, ohne daß die Diagnostik darunter zu leiden braucht.

Eine Zunahme der Farbensinnstörung beobachtet man bei länger bestehendem bezw. fortschreitendem pathologischen Prozeß besonders bei länger bestehenden Netzhautablösungen. Freilich wird hier bald das Sehvermögen so hochgradig herabgesetzt, daß eine Prüfung mit Spektralfarben unmöglich wird. Wir sind in diesen Fällen dann auf die Untersuchung mit Pigmenten angewiesen.

Gewöhnlich tritt eine weitere Verkürzung des Spektrums in der Gegend des Blau auf. Gleichzeitig nehmen die „Endstrecken" zu, besonders die kurzwelligen und die Gegend der neutralen Zone im Spektrum wird breiter. Die Folge davon ist dann, daß Sättigungsunterschiede von Rot und Grün immer weniger unterschieden werden und daß auch orangefarbene und gelbgrüne Objekte farblos erscheinen. Von den beiden Farbentönen des Tritanopen — rot und grün — verblaßt grün immer mehr, bis schließlich nur noch rote Gegenstände farbig gesehen werden, alle übrigen Farben in einem matten grünlichen Grau zerfließen. Diese Erscheinung ist bei alten Netzhautablösungen häufig und bekannt.

C. Die erworbene „progressive Rotgrünblindheit".

Bei einer großen Zahl von Erkrankungen des Sehorganes finden sich immer wiederkehrende Farbensinnstörungen, welche in ihren Haupterscheinungen so viel Ähnlichkeit, vielleicht auch Übereinstimmung zeigen, daß man berechtigt ist, sie, ebenso wie die Gelbblaublindheit, unter einem gemeinsamen Namen zusammenzufassen, der ihr Wesen zwar nicht erschöpfend, aber doch verständlich wiedergibt, dem der erworbenen Rotgrünblindheit.

Die Hauptcharakteristika sind folgende:

1. Die erworbene Rotgrünblindheit stellt nicht nur, wie der Name sagt, eine Störung des „Rotgrünsinnes" dar, sondern ist vielmehr dadurch ausgezeichnet, daß die Farbenempfindung in ihrer Gesamtheit, auch hinsichtlich des Blaugelbsinnes, allmählich leidet, nur daß diese Herabsetzung stets am stärksten im Bereiche des Rotgrünsinnes auftritt.

Es nimmt nämlich

a) die Zahl der unterschiedenen Farbentöne ab; im Spektrum nähern sich alle homogenen Lichter im Aussehen mehr und mehr zwei Farben, nämlich einem Gelb und Blau, welche schließlich allein übrig bleiben. Dann sieht der Patient, ähnlich den angeboren Rotgrünblinden das Spektrum in zwei Hälften, einer gelben (langwelligen, warmen) Hälfte und einer blauen (kurzwelligen, kalten).

b) Alle Farben werden gleichzeitig, d. h. schon vom Beginn der Störung an, immer blasser, ungesättigter, sie verlieren ihre Farbigkeit. Die Folge ist, daß schließlich auch die beiden letzten Farben: Gelb und Blau völlig verblassen, farblos werden, d. h. es tritt totale Farbenblindheit auf.

2. Schon hieraus läßt sich erkennen, daß die erworbene Rotgrünblindheit keine selbständige qualitative Störung darstellt, sondern sie bildet nur ein Stadium einer fortlaufenden Farbensinnstörung, die allmählich den normalen Farbensinn in die völlige Farbenblindheit überführt, sie ist überhaupt nur ein Glied in der Kette einer progressiven Funktionsstörung des Sehorganes. Man könnte auch sagen, die Rotgrünblindheit hat verschiedene Grade. Damit ist natürlich nicht ausgesprochen, daß in jedem Falle von erworbener Rotgrünblindheit später eine totale Farbenblindheit auftreten muß, daß der Verlust des Farbensinnes jedesmal ein vollkommener ist. Je nach dem zu Grunde liegenden Krankheits-Prozeß kann die Farbensinnstörung in jedem Stadium

Halt machen. In gleicher Weise tritt bei plötzlichen Herderkrankungen wie Hämorrhagien im Gehirn usw. auch wohl völliger Verlust der Farbenempfindung sofort auf, ohne daß die Vorstufen nachweisbar wären. Diese werden dann gewissermaßen in ein und demselben Augenblick durchlaufen. Eine Abweichung von dieser Regel ist bisher noch nicht beobachtet worden.

3. Mit dem Charakter des Fortschreitenden im Zusammenhang steht die Eigentümlichkeit, daß das Farbensehen bis zu einer gewissen Grenze wenigstens von den Beobachtungsbedingungen abhängt, unter denen die Objekte von dem Patienten betrachtet werden (S. 151).

Kurz der Grad der nachweisbaren Farbensinnstörung hängt wesentlich davon ab, wie untersucht wird.

Ich will im folgenden daher lieber von „progressiver Rotgrünblindheit" sprechen, um das Quantitative, Fortschreitende der Farbensinnstörung und ihre Abhängigkeit von den Untersuchungsbedingungen anzudeuten. Damit werden, hoffe ich, beim Lesen auch momentane Verwechselungen mit der angeborenen Rotgrünblindheit, die sich ja hierin ganz anders verhält, erschwert werden. Das Stadium der totalen Farbenblindheit ist an anderer Stelle (S. 193) noch einmal gesondert besprochen.

Sowohl für klinisch-diagnostische Zwecke wie vom physiologischen Standpunkt aus ist es wünschenswert, die Untersuchungsergebnisse der progressiven Rotgrünblindheit mit denen bei den angeborenen Farbensinnstörungen zu vergleichen, schon um sie möglichst von diesen unterscheiden zu lernen.

Bei den angeborenen Störungen ließen sich unschwer einige wohlcharakterisierte Typen aufstellen, die man als anomal-trichromatische Farbensysteme (Farbenschwäche), dichromatische Farbensysteme (hier kommt von diesen nur die Rotgrünblindheit in Betracht) und monochromatisches Sehen (totale Farbenblindheit) unterscheiden kann.

Aus dem genannten Grunde wird es wünschenswert sein, auch bei der progressiven Rotgrünblindheit dementsprechend 3 Grade zu unterscheiden, nämlich

1. es besteht noch trichromatisches Sehen: die Anfänge der Rotgrünblindheit,
2. das dichromatische Stadium der Rotgrünblindheit. Bei ihr genügt bereits eine Mischung aus zwei passend gewählten homogenen Lichtern, um sämtliche für den Farbenblinden noch möglichen Farbenempfindungen auszulösen (vergl. das S. 17—18 Gesagte).

3. das monochromatische Stadium, das Stadium der totalen Farbenblindheit, bei der sich die verschiedenen Empfindungen des Patienten nur noch durch die Helligkeit unterscheiden.

Es braucht kaum betont zu werden, daß bei dem allmählichen Verlauf der Farbenblindheit diese 3 Gradabstufungen ganz willkürlich herausgehoben werden müssen und ohne scharfe Grenze ineinander übergehen, vor allem aber, daß auch sie immer nur für eine ganz bestimmte Versuchsanordnung Geltung haben können.

In den folgenden Ausführungen beziehen sie sich auf die Beobachtungsbedingungen, wie sie an dem großen Helmholtzschen Spektralfarbenmischapparat für Untersuchungen dichromatischer Farbensysteme gebräuchlich sind, nämlich eine Objektfeldgröße von 1,5—2° Durchmesser, Dispersionsspektrum des Nernstlichtes, Spaltweite nicht über 120 Teilstriche. Die Untersuchungen wurden im guterleuchteten Zimmer, nicht im verdunkelten Raum vorgenommen). Auch das dem Praktiker besser bekannte Anomaloskop (S. 70) bietet ähnliche Bedingungen. Bei den Untersuchungen handelt es sich nicht um Präzisionsbestimmungen, wie sie der Physiologe für die angeborene Farbenblindheit fordert; deren Ausführung erwies sich bis jetzt als unmöglich. Kleinere Abweichungen in der Versuchsanordnung können daher gegenüber den Beobachtungsfehlern bezw. -Schwankungen für gewöhnlich vernachlässigt werden.

Vorkommen.

Die progressive Rotgrünblindheit ist die häufigste Störung des Farbensinnes. Sie begleitet in mehr oder weniger hohem Grade sämtliche Erkrankungen der Leitungsbahnen des Sehorganes von den inneren Schichten der Netzhaut angefangen bis hinauf zur Hirnrinde, ja sie kann auch bei Prozessen innerhalb der Hirnrinde selbst, so wie bei funktionellen Erkrankungen des Nervensystems in derselben Weise auftreten, ist also keinesfalls auch nur in ähnlicher Weise auf einen bestimmten Abschnitt des Sehorganes beschränkt, wie die Blaugelbblindheit.

Dagegen hat die Natur des Krankheitsprozesses auf die Art der Farbensinnstörung kaum einen Einfluß, höchstens auf deren Grad. Sie findet sich in der gleichen Weise bei entzündlichen Erkrankungen der Nervenbahnen jeder Ursache, wie auch bei einfachen atrophischen Prozessen.

Fraglich ist noch, inwieweit einfache atrophische Vorgänge innerhalb der Stäbchen- und Zapfenschicht ebenfalls die Symptome der progressiven Rotgrünblindheit hervorrufen können (vergl. auch Netzhaut S. 237).

Die diagnostische Bedeutung der progressiven Rotgrünblind-

heit wird bei den Erkrankungen der Leitungsbahnen besprochen werden.

Die Farbenempfindung.

Die ersten Angaben und Untersuchungen stammen von Benedikt, der zuerst auf die große Häufigkeit derartiger Farbensinnstörungen bei Erkrankungen des Sehorganes aufmerksam gemacht hat, und von Schelske. Nicht viel später hat sich dann eine große Reihe von Autoren mit der erworbenen Rotgrünblindheit beschäftigt. Sie sind fast sämtlich zu übereinstimmenden Ergebnissen gelangt.

In der Regel wurde das Farbensehen durch Benennenlassen farbiger Objekte (Pigmentfarben und homogene Lichter) geprüft (Schirmer, Benedikt, Knies, Schelske, Treitel, Dor, Stilling, Rählmann, Leber u. a.).

Genauere Prüfungen der Farbenempfindung durch monokulare und binokulare Vergleichungen mit der Farbenempfindung gesunder Bezirke im Gesichtsfelde verdanken wir Hering (64) und Hess (63).

Lichtmischung mittels Farbenkreisel wurde zum ersten Male von Schelske vorgenommen, ferner von Dor, Leber u. a. In systematischer Weise wurde die quantitative Lichtmischung mit homogenen Lichtern (Aichung) am Helmholtzschen Spektralfarbenmischapparat in einem Falle von König und in größerem Umfange von Köllner (76) ausgeführt.

Über die Lichtintensität, welche bei verschiedenfarbigen Lichtern notwendig war, um entsprechende Farbenempfindung hervorzurufen, d. h. also Untersuchungen über die spezifischen Farbenschwellen hatte Rählmann (55) schon früher einige Untersuchungen angestellt.

a) Das noch trichromatische Anfangsstadium der Rotgrünblindheit.

Die ersten Veränderungen im Farbensehen treten nicht nur an einer bestimmten Stelle des Spektrums auf, sondern wahrscheinlich in der ganzen Länge des Spektrums ziemlich gleichzeitig[1]), etwa folgendermaßen.

Der bläulichgrüne Teil, also etwa 500—490 $\mu\mu$ Wellenlänge, verliert ohne Änderung des Farbentones allmählich seine Sättigung, d. h. er wird blaßgrün und schließlich grau. Dieses im Farbentone also unveränderliche Blaugrün bildet gleichsam einen fixen Punkt im Spektrum des Patienten. Denn von hier aus gerechnet verändert der ganze langwellige Teil, der also Rot über Gelb bis Gelbgrün umfaßt, seine Farbe derart, daß seine Lichter immer ähnlicher einem Gelb (von etwa 575 $\mu\mu$ Wellenlänge) werden. Gleichzeitig büßen auch sie an Sättigung ein, nur in verschiedenem Grade, und umso mehr, je näher sie dem Blaugrün liegen, also

[1]) Inwieweit hier individuelle Unterschiede vorkommen, ist noch unentschieden.

ein Gelbgrün wird schneller weißlich als der rote Teil des Spektrums. Das Umgekehrte findet in der kurzwelligen Hälfte des Spektrums, jenseits vom Blaugrün statt: alle Lichter von Grün, Blau, bis Violett ändern ihren Farbenton derart, daß sie einem Blau von etwa 470 $\mu\mu$ Wellenlänge ähnlich werden. Wiederum verlieren sie in verschiedenem Grade an Sättigung, der grünlichblaue Teil wird schneller weißlich, als das Violett.

Es ändert also seinen Farbenton allmählich:

	zunächst in	dann in	schließlich in
Spektralrot	schmutzigziegelrot, (grauziegelrot)	schmutzigorange	weißlich-gelb
Orange	graugoldgelb	weißlichgelb	
Gelb (575 $\mu\mu$)	wird nur allmählich weißlicher		
Grüngelb	weißlichgelb		
Gelbgrün	weißlichgelb		
Bläulichgrün (etwa 495 $\mu\mu$)	blaßgrün	grau, farblos	
Grünblau	blaßblau		
Blau (etwa 470 $\mu\mu$)	wird nur allmählich weißlicher		
Violett	blau, etwas blasser		

Man sieht daraus, daß im Spektrum drei Farben ihren Ton beibehalten und nur ihre Sättigung verlieren nämlich ein bestimmtes Gelb (etwa 575 $\mu\mu$), Grün (etwa 495 $\mu\mu$) und Blau (etwa 470 $\mu\mu$). Dazu kommt als vierte Farbe noch ein im Spektrum nicht gesehenes Rot, das zu den Purpurfarben gehört. Es sind das annähernd die gleichen vier invariablen Farben, welche wir bei dem Sehen in der Gesichtsfeldperipherie (S. 25) und bei der angeborenen Rotgrünblindheit kennen gelernt haben.

Im folgenden sei ein spezielles Beispiel für den Beginn des Verlaufes gegeben, wenn man isolierte Lichter eines Dispersionsspektrums betrachten und benennen läßt.

Ließ ich mit einem gesunden und erkrankten Auge abwechselnd beobachten, so machten sich in der Regel Störungen zuerst bei etwa 560—545 $\mu\mu$ bemerkbar: Die Lichter, welche der Beobachter mit dem normalen Auge grünlichgelb sah, sah er mit dem kranken reingelb bezw. blaßgelb. Erst deutliches spektrales Gelbgrün nannte er Grünlichgelb. Bald sah auch das Natriumgelb nur noch gelblichweiß aus, und das Orange verlor seinen rötlichen Ton, d. h. es wurde ebenfalls reingelb[1]).

[1]) Bis hierher kann die Untersuchung mit der Rayleighgleichung (unter gleichen Beobachtungsbedingungen) noch vollkommen normale Verhältnisse ergeben, s. später.

Allmählich wird die Sättigungsabnahme in der Gegend des spektralen Grün mehr und mehr merklich und reines spektrales Grün wird vom Patienten als Weiß bezeichnet, während spektrales Rot unter gleichen Bedingungen gesehen, zwar blasser und mehr Orange geworden ist, aber noch deutlich farbig, ja sogar noch rötlich gesehen werden kann. Schließlich nennt es der Patient dunkelgelb, feuerfarben. Nunmehr ist das Stadium des dichromatischen Sehens bald erreicht.

Aus dem Verhalten, daß in einer Reihe von scheinbar typischen Fällen die ersten Störungen der Farbenempfindung in der Gegend des Grüngelb sich bemerkbar machen, geht noch nicht hervor, daß tatsächlich die „Grünempfindung" eher leidet wie die „Rotempfindung". Wie die Verhältnisse in dieser Hinsicht liegen, ist zur Zeit noch völlig unklar. Möglicherweise sinken Rot- und Grünempfindung in gleichem Grade, ähnlich wie es *Hess* für die Peripherie des Gesichtsfeldes festgestellt hat. Vielleicht finden sich auch individuell Verschiedenheiten derart, daß einmal die Empfindung für Rot in stärkerem Grade, dort wieder für Grün schneller sinkt, daß also eine Trennung beider stattfindet[1]).

Stellt man sich *Scheingleichungen* zwischen zwei homogenen Lichtern her, so bemerkt man bald, daß mit zunehmender Farbensinnstörung der Abstand der beiden Lichter im Spektrum immer größer gewählt werden kann, ohne daß der Patient eine Farbendifferenz zwischen den beiden Vergleichsfeldern bemerkt (natürlich müssen Helligkeitsunterschiede der Vergleichsfelder entsprechend ausgeglichen werden). Wiederum läßt sich am frühesten diese Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit für Lichter verschiedener Wellenlänge in der Gegend des spektralen Gelbgrün—Grün nachweisen.

Sehr leicht kann man sich überzeugen, daß der Satz: sind 2 Größen einer dritten gleich, so sind sie auch untereinander gleich, sich nicht auf Untersuchunden dieser Art übertragen läßt. Sieht der Patient z. B. Lichter von 570 $\mu\mu$ (grünlichgelb) und 545 $\mu\mu$ (gelbgrün) gleich, anderseits 570 $\mu\mu$ und 600 $\mu\mu$ (orange), so folgt daraus noch nicht, daß er auch Orange und Gelbgrün nebeneinander nicht mehr farbig unterscheiden kann. Vielmehr kann hier die größere Differenz zwischen den Wellenlängen beider Lichter sehr wohl auch eine Unterschiedsempfindung ermöglichen.

Der Praktiker wird ja nach wie vor meist mit *farbigen Pigmenten* (Papieren, Tuchen) untersuchen. Diesen gegenüber verhält sich der Patient im allgemeinen natürlich nicht anders, wie bei Spektralfarben.

Die gebräuchlichen *roten und grünen Papiere* entsprechen im Farbenton meist annähernd dem Spektralrot,

[1]) Ebenso zweifelhaft liegen ja die Verhältnisse in dieser Beziehung bei den angeborenen anomalen Trichromaten (vergl. S. 56). Siehe auch unter atypischen Formen der Rotgrünblindheit.

sowie dem Spektralgrün von 520—500 $\mu\mu$, sind aber weniger gesättigt, wie homogenes Licht. Untersucht man nun mit gleichgroßen, roten und grünen Objekten z. B. Quadraten, so fällt auf, daß fast stets Rot länger erkannt wird wie Grün. Zu einer Zeit, wo Grün bereits als Grau, Gelblichgrau und farblos bezeichnet wird, erscheint Rot noch als graurosa oder schmutzigrötlich, Farben, die von den Patienten noch zu Rot gerechnet werden. Daraus wird dann zuweilen wieder der Schluß gezogen, daß „die Empfindung für Grün zuerst erlischt, dann die für Rot". (vergl. auch S. 146 . Das ist natürlich in dieser allgemeinen Form nicht richtig, sondern kann sich nur immer auf die gerade gewählte Prüfungsanordnung beziehen. Kaum als eine Verbesserung der Situation erscheint es, wenn — wie früher nicht selten — in der Literatur gesprochen wird von einer „Grünblindheit" zu der später „Rotblindheit" hinzutritt. Gemeint ist damit ja nur die oben skizzierte Erscheinung, daß zuerst grüne Objekte farblos gesehen werden, später rote. Immerhin können Mißverständnisse leicht eintreten; denn wir wissen, daß die Ausdrücke Rot- und Grünblindheit auch im Sinne der Helmholtzschen Theorie für die beiden Formen der angeborenen Rotgrünblindheit (Protanopie und Deuteranopie) gebraucht worden sind, hier bedeuten sie natürlich etwas ganz anderes. Da mit den Worten nur Verwirrung angerichtet werden kann, werden sie am besten vorläufig gar nicht angewendet.

Mit unter die ersten Erscheinungen der Farbensinnstörung gehört übrigens, daß violette Objekte Blau gesehen werden.

Allmählich nähern sich alle Farbentöne den beiden — Gelb und Blau — immermehr. Zuweilen macht sich bei Nebeneinanderstellungen von Farben noch der Kontrast bemerkbar. Allein betrachtet werden grüne Objekte gelblichgrau oder grau genannt, Rote gelb, aber nebeneinander erscheinen sie wieder grünlich und rötlich.

Allmählich verblaßt auch dieser Unterschied und ohne scharfe Grenze ist für die gewählte Prüfungsanordnung das dichromatische Stadium erreicht.

b) Das dichromatische Stadium.

Erst das dichromatische Stadium könnte man als eigentliche Rotgrünblindheit bezeichnen, ähnlich wie die angeborenen dichromatischen Systeme. Diese Beschränkung der Bezeichnung ist nur insofern hinfällig, als eben, wie anfangs erwähnt, jedes, auch das Anfangsstadium der progressiven Rotgrünblindheit, schon allein durch Änderung des Gesichtswinkels der farbigen Objekte ihrer Größe bezw. in das dichromatische Stadium verwandelt werden kann.

Im dichromatischen Stadium erblickt der Patient im Spektrum nur Gelb und Blau, und zwar entspricht das Gelb dem Farbenton, welchen beim Normalen Licht von 575 $\mu\mu$ Wellenlänge hervorruft, das Blau einem Blau beim Normalen von 471 $\mu\mu$ Wellenlänge (Hess 63). Beide sind also annähernd komplementär zueinander.

Die beiden Farben werden aber stets erheblich weißlicher (ungesättigter) gesehen, wie vom Normalen (Hering 64, Hess 63) und auch vom angeboren Rotgrünblinden (Uhthoff) (vgl. Tafel III, Fig. 6 mit Tafel II, Figur 2 u. 3). Nach der Mitte des Spektrums hin nimmt die Sättigung noch weiter ab, bis schließlich — ganz wie bei der angeborenen Rotgrünblindheit — Gelb und Blau in einer farblosen Zone — der neutralen Stelle — ineinander übergehen. Sie liegt etwa dort, wo der Normale Blaugrün sieht (vergl. Tabelle).

Wellenlänge des homogenen Lichts und Empfindung des Normalen	Farbenempfindung nach Angabe des Patienten	Die Empfindung des Patienten kann bei dem Normalen erzielt werden (nach Hess)
690 $\mu\mu$ (dunkelrot)	dunkelgelb, feuerfarben, dunkelgraugelb, schmutzigdunkelgelb	Gelb von 575 $\mu\mu$ unter Zumischung von Weiß bei geringer Intensität.
656 $\mu\mu$ (rot)	schmutziggelb, feuerfarben	Gelb von 575 $\mu\mu$ unter Zumischung von Weiß.
610 $\mu\mu$ (orange)	gelb, feuerfarben, lichtfarben	
589 $\mu\mu$ (goldgelb)	dto.	
575 $\mu\mu$ (gelb)	mattgelb, lichtfarben	
551 $\mu\mu$ (gelbgrün)	gelblichgrau, lichtfarben	
550—520 $\mu\mu$ (grün)	gelblichgrau, lichtfarben	
520—496 $\mu\mu$ (blaugrün)	gelblichgrau, grau, weiß	
495 $\mu\mu$ (blaugrün)	grau, weiß	farbloses Tageslicht.
494—485 $\mu\mu$ (grünblau)	mattblau, bläulichweiß	Blau von 471 $\mu\mu$ unter Zumischung von Weiß.
471 $\mu\mu$ (indigoblau)	violettblau, kornblumenblau, lilablau	
440—430 $\mu\mu$ (violett)		

Je mehr die Funktionsstörung zunimmt, umso mehr nimmt die Sättigung der beiden Farbentöne ab, sie werden immer weißlicher, schließlich werden sie als gelblichgrau und mattbläulich

bezeichnet, bis endlich das ganze Spektrum gleichmäßig grauweiß gesehen wird: das Stadium der totalen Farbenblindheit ist erreicht.

Blau und Gelb schwinden wahrscheinlich gleichzeitig aus dem Spektrum. Da aber ein sehr weißliches Gelb nicht selten für rein Weiß, noch allgemeiner für „hell", lichtfarben erklärt wird, so kommt es, daß viele Patienten angeben, sie sähen im Spektrum nur noch Blau, sonst alles farblos, Blau werde „bis zuletzt erkannt".

Bei den angeborenen dichromatischen Farbensystemen waren im Spektrum die Lage der „neutralen Zone" und die Ausdehnung der „Endstrecken" genauer angegeben. Zum Vergleich sollen auch für die erworbene progressive Rotgrünblindheit die betreffenden Ergebnisse mitgeteilt werden.

Die neutrale Zone läßt sich etwa zwischen 490 und 500 $\mu\mu$, also im Blaugrün des Spektrums bestimmen (Hering 64, Köllner 76), durchschnittlich bei etwa 495 $\mu\mu$ (Hess 63). Nähert sich jedoch die Farbensinnstörung dem Stadium der totalen Farbenblindheit, so wird mit abnehmender Sättigung natürlich die neutrale Zone allmählich immer breiter und nimmt dann den ganzen mittleren Teil des Spektrums ein.

Die Endstrecken des Spektrums. Wie bei der angeborenen Protanopie und Deuteranopie gibt es auch bei der erworbenen Rotgrünblindheit an beiden Enden des Spektrums eine Strecke, innerhalb welcher die homogenen Lichter in gleicher Sättigung und selbstverständlich auch in gleichem Farbenton (Gelb bezw. Blau) gesehen werden, sich also nur durch verschiedene Helligkeit unterscheiden.

Je nach dem Stadium der Rotgrünblindheit ist die Länge der Endstrecken verschieden, auch für ein- und dieselbe Versuchsanordnung. Bei den von mir untersuchten 6 Fällen reicht die langwellige Endstrecke bis etwa 525—500 $\mu\mu$ herab[1]). Genauere Bestimmungen sind bei dem graduellen Charakter der Rotgrünblindheit von verhältnismäßig geringem Wert. Jedenfalls erstreckt sie sich über alle Lichter, welche dem Normalen Rot, Orange, Gelb und Gelbgrün erscheinen.

Die Endstrecke am violetten (kurzwelligen) Ende des Spektrums läßt sich etwas genauer begrenzen[1]), sie reicht ungefähr von

[1]) Die vorhandenen Differenzen in der Länge der Endstrecken beruhen zum Teil auf Ungenauigkeiten in der Beobachtung bei der „Aichung" des Spektrums. Nach v. Kries und Nagel, sowie nach König lassen sich schon bei der Protanopie und Deuteranopie die ersten kleinen Werte des kurzwelligen (blauen) Aichlichtes auch bei geübten Beobachtern nur mit Unsicherheit feststellen. Das liegt daran, weil bei dem angewendeten Dispersionsspektrum des Gas- oder Nernstlichtes das Blau des Aichlichtgemisches wesentlich dunkler erscheint als das Rot. Daher spielen gegenüber den hohen Anteilen des roten Mischlichtes

470—460 $\mu\mu$ abwärts, umfaßt also die Lichter, welche der Farbentüchtige Indigoblau und Violett sieht (Köllner 76).

Allein aus der Tatsache, daß Lithiumrot und Natriumgelb eine völlige „Gleichung" ergeben, andererseits auch Natriumgelb und Thalliumgrün gleich gesehen werden, geht noch nicht hervor, daß nun auch Lithiumrot und Thalliumgrün wirklich innerhalb einer „Endstrecke" liegen (vergl. S. 146). Vielmehr können diese beiden sehr wohl noch farbig unterschieden werden und das Sehen braucht noch kein dichromatisches zu sein, auch nicht für die gleichen Versuchsbedingungen (vergl. auch bei der Aichung, Fig. 22; auch hier wurde die Gleichung Lithium-Natrium und Natrium-Thallium angenommen).

Die Länge des sichtbaren spektralen Bandes ist für den Rotgrünblinden annähernd die gleiche, wie für den Normalen, d. h. deutliche Verkürzungen am langwelligen (roten) Ende, wie bei der Protanopie (S. 46) oder am kurzwelligen (violetten) Ende wie bei der erworbenen Tritanopie (S. 119) kommen nicht vor (Leber, Rählmann, Hess u. a.). Zuweilen wurden geringe Verkürzungen beobachtet (Hering, Leber) die möglicher Weise darauf beruhen, daß dem Patienten in späteren Stadien seiner Störung das Spektrum im ganzen lichtschwächer erscheint.

Scheinbare Änderungen der Länge am violetten Ende (Rählmann) sind stets vorsichtig zu beurteilen, weil der Adaptationszustand des Auges hier von größerem Einfluß ist, zumal die objektiven Spektren im verdunkelten Raum entworfen werden.

c) Das monochromatische Stadium.

Das monochromatische oder total farbenblinde Stadium ist dann vorhanden, wenn sämtliche Lichter des Spektrums auch die Lichter aus den beiden äußersten Enden nebeneinander gesehen nicht mehr farbig d. h. als gelblich und bläulich unterschieden werden.

Natürlich gilt auch hier das Farbensehen immer nur für eine bestimmte Versuchsanordnung und die totale Farbenblindheit läßt sich meist wieder in das dichromatische Sehen zurückverwandeln, wenn man die farbigen Felder unter größerem Gesichtswinkel betrachten läßt, die Intensität der Lichter steigert usw.

Während des ganzen Verlaufes der Farbensinnstörung wird unzerlegtes Tageslicht im allgemeinen wie vom Normalen weiß gesehen. Nicht allzu selten tritt aber Farbigsehen

---

die beginnenden Blauwerte nur eine sehr geringe Rolle, während umgekehrt die letzten kleinen Rotwerte sich sehr gut bestimmen lassen.

Bei der erworbenen Rotgrünblindheit tritt diese Tatsache noch mehr hervor infolge der mangelnden Übung in der Beobachtung, der geringeren Sättigung, in welcher die Aichlichter gesehen werden, vielleicht auch zum Teil infolge der Herabsetzung der Sehschärfe.

(Chromatopie) hinzu, am häufigsten Rötlichsehen; dann erscheinen dem Patienten alle, besonders helle Gegenstände rosa, rot, lilarot (Leber 48, Köllner 76). Seltener tritt mehr oder weniger lebhaftes Grünsehen hinzu (Hilbert 72), oder auch abwechselnd Grün- und Rotsehen (Bregmann 101). Auch andere Qualitäten der Chromatopie begleiten die progressive Rotgrünblindheit zuweilen. Stets summiert sich dann die gesehene Farbe mit den Farben-Empfindungen, wie sie durch die Rotgrünblindheit bedingt sind, blaue Gegenstände erscheinen z. B. bei gleichzeitigem Rotsehen violett, gelbe werden „rötlich" usw.

Der Einfluß der Beobachtungsbedingungen auf das Farbensehen ist, wie bereits eingangs erwähnt wurde, ein recht erheblicher. Die wichtigsten Faktoren, welche in Betracht kommen, sind die folgenden.

Man kann das Farbensehen scheinbar verbessern indem man

1. die Sättigung der Objektfarben steigert. Auf diesem Prinzip beruhen gewisse Methoden der quantitativen Prüfung des Farbensinnes, z. B. die „Sättigungstafeln" von Kolbe und Bull (S. 175).

2. die Lichtintensität steigert. Ein Patient, welcher in einem lichtschwachen Spektrum nur noch Gelb und Blau sieht, also dichromatisch erscheint, unterscheidet bei zunehmender Lichtstärke mehr Farbentöne und wird wieder trichromatisch (Rählmann 55, Stilling 57 u. a.)

3. den Gesichtswinkel vergrößert. Man kann (ähnlich wie in der Gesichtsperipherie) schon allein durch Verkleinerung der farbigen Objekte, mit denen untersucht wird, eine erworbene Rotgrünblindheit in ein Stadium mit völligem Verlust der Farbenempfindung (erworbene totale Farbenblindheit) verwandeln und umgekehrt durch Vergrößerung des Objektes die Farbenempfindung wieder scheinbar verbessern.

Beispiel: Sehnervenatrophie, $S = {}^1/_3 - {}^1/_4$. Zentrales Skotom von 6° Durchmesser in dessen Bereich rote und gelbgrüne Perimeterobjekte von 5 mm Seitenlänge zwar „schmutzig" und „blasser" gesehen werden, als mit dem gesunden Auge, aber immerhin noch rot und grün erscheinen. Bei einer Objektgröße von 2 mm Seitenlänge erscheinen bereits beide gleichmäßig gelblich.

4. die Zeit der Beobachtung bis zu einem gewissen Grade erhöht. Wenn auch hierüber noch wenig bekannt ist, so kann man jedenfalls häufig beobachten, daß die Patienten beim ersten Hinsehen noch zwei verschiedenfarbige Objekte gleichfarbig sehen, die sich dann beim etwas längeren Hinsehen erst allmählich voneinander abheben. Bei der Untersuchung mit der Rayleighgleichung ist dieser Faktor z. B. von gewisser Bedeutung. Bei der Sehschärfeprüfung kann man in Fällen von Sehnerven-

atrophie bekanntlich jederzeit die gleiche Beobachtung machen: wenn man etwas Geduld hat, so erreicht der Patient eine oft erheblich höhere Sehschärfe, wie im ersten Moment: der Patient hat, wie man vulgär zu sagen pflegt, eine langsame Leitung. Man kann sich vorstellen, daß die Leitungswiderstände erhöht sind (Wilbrand und Sänger).

Inwieweit anderseits wieder eine Ermüdung für farbige Reize gesteigert ist, entzieht sich noch unserer Beurteilung.

Die subjektiven Erscheinungen.

Im allgemeinen müßte man annehmen, daß die Patienten sich sehr bald der veränderten Farbenempfindung bewußt werden, da die mangelhafte Unterscheidung von Rot, Gelb und Grün — ebenso wie bei der angeborenen Rotgrünblindheit — eine im praktischen Leben sehr wichtige Störung bildet.

Wenn trotzdem viele Patienten von ihrer Farbensinnstörung nichts wissen, so liegt das meist daran, daß der Krankheitsprozeß entweder einseitig auftritt und so leicht übersehen wird; oder nur ein kleiner Teil des Gesichtsfeldes ist betroffen, und größere farbige Objekte werden deswegen noch mit normal funktionierenden Teilen des Sehorganes gesehen. Wer dann noch dazu mit feineren Farbenunterscheidungen nichts zu tun hat, wird die Abnahme des Unterscheidungsvermögens nicht leicht bemerken, zumal wenn sie sehr allmählich erfolgt.

Zuerst, so müßte man denken, würde der Patient das Blasser- bezw. Grauwerden grüner Gegenstände bemerken, später dann das veränderte Aussehen roter Objekte. Fragt man darnach, bekommt man nicht selten zu hören, daß gerade die rötlichen Farben, nicht die grünen zuerst ihre Farbe zu verlieren scheinen. Das liegt meist nur daran, daß eben die Änderung der roten Farbentöne nach Gelb hin im täglichen Leben am meisten auffällt (das gilt übrigens von sämtlichen Änderungen der Farbentöne). Diese werden durchweg leichter bemerkt als eine Abnahme der Sättigung. Ganz charakteristisch ist z. B. die Angabe, daß die roten Kragen der Infanteristen wie die der Briefträger aussehen (Rot nähert sich dem Orange) (Knies), Apfelsinen nehmen die Farbe der Zitronen an (Orange wird gelb) usw.

Eine charakteristische und sehr wichtige Klage der meisten Patienten besteht darin, daß sie Gold- und Silbermünzen nicht mehr ordentlich unterscheiden können; das rötliche Gelb der Goldstücke wird gelblich weiß und tritt nun gegenüber dem Metallglanz überhaupt in den Hintergrund. Besonders Geschäftsleute

geben beim Wechseln falsch heraus und haben damit Ärger; so kommt es, daß nicht selten diese Verwechselungen die erste Klage bilden. Bei der erworbenen Violettblindheit (bezw. Tritanopie) kommt, wenn die Sehschärfe nicht bereits zu stark gesunken ist, diese Münzkonfusion nicht vor. Aus ihr kann man deswegen stets mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf progressive Rotgrünblindheit schließen.

Klagen über mehr oder weniger schnell vorübergehende Chromatopie (Rot- bezw. Grünsehen) usw. hat mit der Rotgrünblindheit keinen direkten Zusammenhang. Beide sind gleichsam als koordiniert anzusehen, bedingt durch den zu Grunde liegenden Krankheitsprozeß.

Chromatophobie (S. 220) begleitet ebenfalls zuweilen die progressive Rotgrünblindheit. Wenigstens zum Teil steht sie wohl im Zusammenhang mit der Nyctalopie d. h. der Erscheinung, daß die Patienten in der Dämmerung besser sehen, wie bei heller Beleuchtung. Letztere stellt eine Störung des Lichtsinnes dar, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann.

Die Ergebnisse der Lichtmischung.

Bisher wurde im wesentlichen die Qualität des veränderten Farbensehens berücksichtigt. Die Lichtmischung gibt nunmehr auch Aufklärung darüber, unter welchen Bedingungen zwei verschiedenartige Lichtreize gleiche Farbenempfindungen auslösen ohne Rücksicht auf die Qualität dieser gesehenen Farbe.

a. die Aichung bei der erworbenen Rotgrünblindheit.

Mischungsgleichungen zwischen einem Zweifarbengemisch und verschiedenen anderen Farben sind am Farbenkreisel, also mit farbigen Papieren, bereits früher vorgenommen worden (Schelske 46, Leber 48 u. a.). Bereits auf diese Weise wurde festgestellt, daß in einem gewissen Stadium der progressiven Rotgrünblindheit nur noch ein Zweifarbensehen besteht, sowie welches Mischungsverhältnis der beiden Mischfarben hierzu erforderlich war.

Wichtiger sind die genaueren quantitativen Bestimmungen mittels spektraler Mischungsgleichungen, die Aichungen (vergl. hierüber S. 35).

Aichungen im Stadium des dichromatischen Sehens.

Wenn auch die Zahl der bisherigen Untersuchungen noch gering ist (ein Fall von König ohne Angabe der gefundenen Werte, 5 Fälle von Köllner). so lassen sich doch einige wichtige Schlüsse aus ihnen ziehen, welche durch die weiteren Untersuchungen mittels der Rotgelbgleichung bestätigt werden.

Zunächst zeigen die geaichten Systeme der erworbenen Rotgrünblindheit eine gewisse Übereinstimmung untereinander, die uns dazu be-

rechtigt, vorläufig von einer typischen progressiven Rotgrünblindheit zu sprechen gegenüber eventuellen atypischen Formen (über diese S. 190)[1]).

Freilich muß man sich unter einem derartigen „typischen“ rotgrünblinden System nicht ein so scharf charakterisiertes vorstellen, wie die angeborene Protanopie und Deuteranopie. Schon die genaue Bestimmung der Aichwerte stößt deswegen auf große Schwierigkeiten, weil sich herausgestellt hat, daß die Patienten nur schwer imstande sind, Helligkeitsunterschiede zwischen den beiden Feldhälften, welche bei der Aichung verglichen werden sollen, zu unterscheiden. Es zeigt sich nämlich eine recht beträchtliche Unempfindlichkeit gegen Helligkeitsunterschiede (wenigstens bei den Lichtintensitäten, welche für die Untersuchung gewählt wurden[2])), die man geradezu charakteristisch nennen könnte. Diese geringe Empfindlichkeit, die als eine Störung des Lichtsinnes (im engeren Sinne, S. 1) aufgefaßt werden kann, ist auch dann vorhanden, wenn bei der progressiven Rotgrünblindheit das dichromatische Sehen soeben erst aus dem trichromatischen entstanden ist, also zu einer Zeit, wo die Funktion des Sehorganes noch eine verhältnismäßig gute ist.

Als Beispiel für die Aichung der erworbenen Rotgrünblindheit sind auf der Tabelle die Aichwerte eines Falles angegeben, sowie deren graphische Darstellung in bekannter Kurvenform (Fig. 19).

Wegen der Ungenauigkeit in der Bestimmung der Aichwerte sind keine Mittelzahlen mehr angegeben, wie es bei den angeborenen dichromatischen Systemen und der erworbenen Tritanopie geschah, sondern nur noch die oberen und unteren Grenzwerte. Aus dem gleichen Grunde wurden statt einer Aichwertkurve deren obere und untere Grenzkurve gezeichnet, also zwei. Statt der einfachen Linie werden somit die Aichwertkurven durch gewissermaßen ein mehr oder weniger breites Band dargestellt.

Der Verlauf der Aichwertkurven und deren Abweichung von der angeborenen Protanopie und Deuteranopie.

Ein Blick auf die graphische Darstellung (Fig. 19) gewährt einen besseren Überblick als die Zahlenreihen der Aichwerte. Am wichtigsten für die Charakterisierung der Rotgrünblindheit ist die Gestalt der Kurve des langwelligen (roten) Aichlichtes. Denn in ihrem Verlauf unterscheiden sich ja die angeborene Protanopie und Deuteranopie voneinander. Auf ihre möglichst genaue Feststellung wurde auch deswegen die meiste Sorgfalt verwendet. Der Gipfel dieser Kurve liegt bei der erworbenen Rotgrünblindheit zwischen 590 und 610 $\mu\mu$ (Köllner 76); er gibt zugleich diejenige Stelle im Spektrum an, welche dem Rotgrünblinden am hellsten erscheint. Die zweite Kurve, die den Werten des kurzwelligen (blauen) Aichlichtes entspricht erreicht ihren höchsten Punkt im Spektrum bei etwa 470 $\mu\mu$ (Köllner, Uhthoff).

[1]) Inwieweit sich diese typische Rotgrünblindheit noch wird in Unterformen zerlegen lassen, müssen erst weitere Untersuchungen lehren.

[2] Lichtintensitäten, die am Helmholtzschen Spektralfarbenmischapparat (Nernstlichtspektrum) angewendet wurden: der Spalt, welcher die homogenen Lichter liefert, wurde auf 10 gestellt, für die kurzwelligen Lichter, auf 20 und 40. Geringere Spaltweite wurde vermieden wegen Dunkeladaptation, höhere Spaltweite verbot sich, weil sonst der andere Spalt, welcher das Lichtgemisch lieferte, über 100 hätte erweitert werden müssen, wodurch die Reinheit des Lichtes gelitten hätte.

Aichwerte eines Falles erworbener Rotgrünblindheit.

Spektraler Ort der homogenen Lichter in $\mu\mu$	Werte des langwelligen Aichlichtes 661 $\mu\mu$	Werte des kurzwelligen Aichlichtes 441 $\mu\mu$
660	10	—
631	30	—
605	50—70	—
595	50—80	—
581	40—60	—
563	35—50	—
546	30	—
530	25—30	—
516	10—15	—
503	6,6	0,9
491	2,5	5
480	0,7	24
470	0,2	27
461	—	23

Untersuchung am Helmholtzschen Spektralfarbenmischapparat für das prismatische Spektrum des Nernstlichtes.

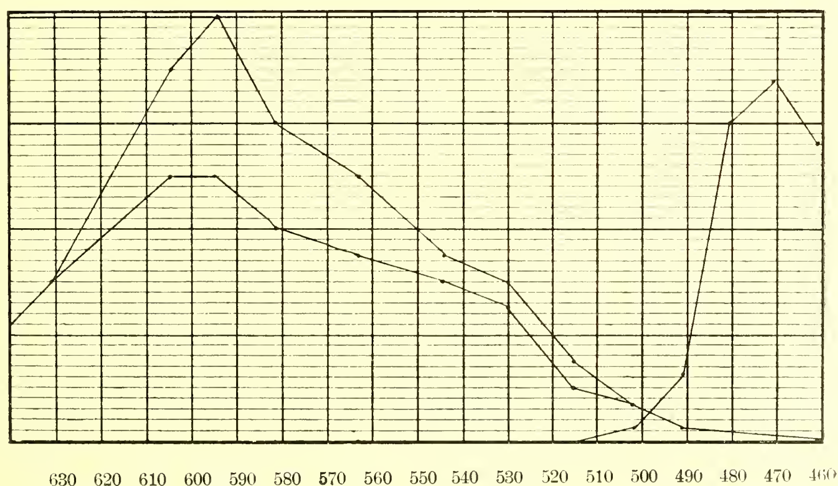


Fig. 19.

Typische erworbene Rotgrünblindheit im dichromatischen Stadium. Die beiden Grenzlinien für die Kurve des langwelligen (roten) und die Kurve des kurzwelligen (blauen) Aichlichtes.

Ein Vergleich mit den Aichwertkurven der angeborenen Protanopie und Deuteranopie ist deswegen mißlich, weil wir es hier mit Präzisionsbestimmungen, nicht nur mit Grenzwerten zu tun haben. Jedenfalls unterscheidet sich das dichromatische System bei der progressiven Rotgrünblindheit durchaus von der angeborenen Protanopie, wie aus der ganz abweichenden Lage der langwelligen Aichwertkurven sofort hervorgeht. (Bei der Protanopie liegt der Gipfel der langwelligen Kurve bei etwa 570, bei der erworbenen Rotgrünblindheit bei ca. 600 $\mu\mu$). Dagegen hat es Ähnlichkeit mit der Deuterano-

p i e, wenngleich der Abfall der langwelligen Kurve nach dem Blau hin durchweg etwas langsamer zu erfolgen scheint.

Genauere vergleichende Betrachtungen hierüber anzustellen, ist vorläufig umso weniger anzuraten, als die neueren Untersuchungen über die Helligkeits-

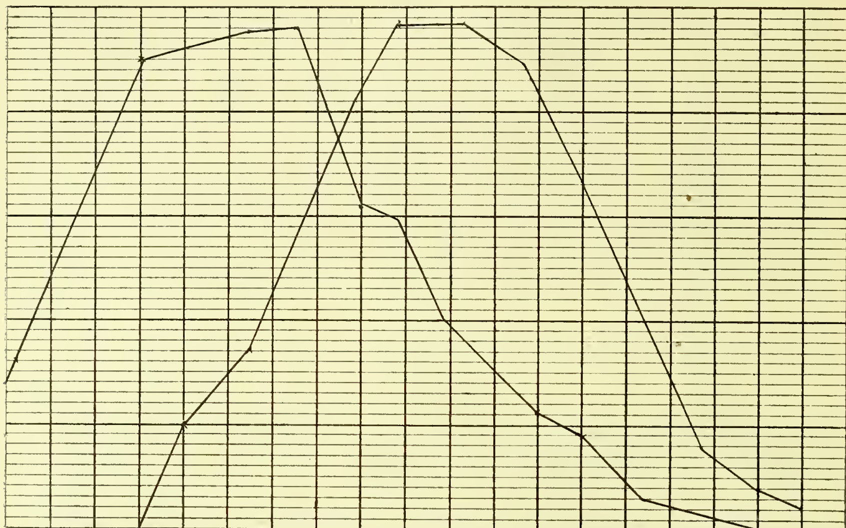


Fig. 20.
Die beiden Aichwertkurven einer erworbenen Tritanopie (Sehschärfe = 1/2) nach Köllner (keine Präzisionsbestimmungen). Sie ersetzt für den vorliegenden Zweck das normal trichromatische System, das man erhalten würde, wenn man sich die 3. fehlende Kurve hinzudenkt.

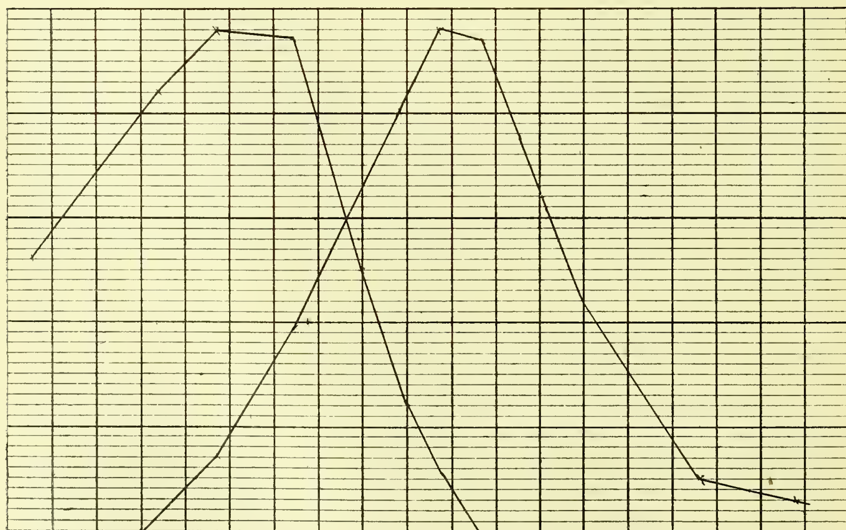


Fig. 21.
Die beiden Aichwertkurven eines tritanopischen Systems mit beginnender Sehnervenatrophie (Sehschärfe = 1/3). Beginnende Verschmelzung der beiden Aichwertkurven.

verteilung der Normalen im Spektrum erhebliche individuelle Schwankungen ergeben haben insbesondere gerade Übergänge zu den Deuteranopen (K. von Maltzew 75) und weil auch sonst große z. T. noch wenig erforschte individuelle Unterschiede in dem Farbensehen scheinbar Normaler bestehen (Köllner 5).

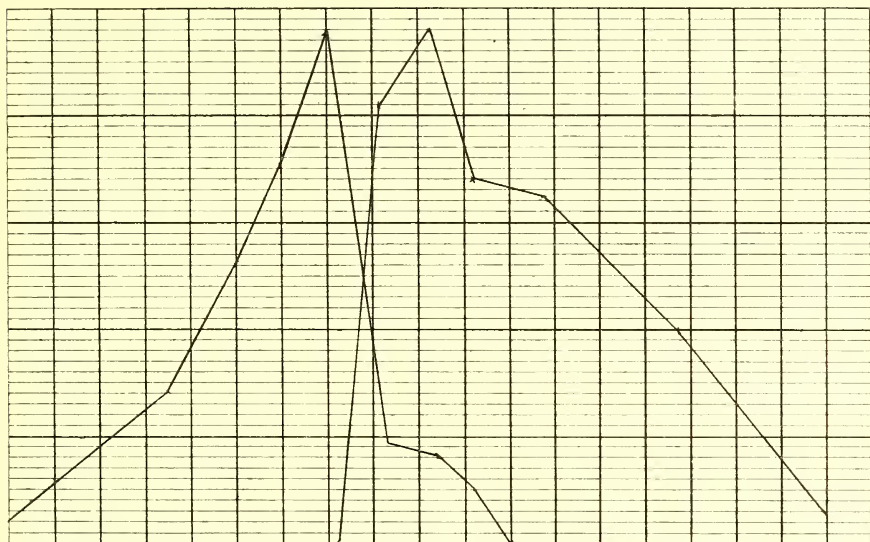


Fig. 22.
Fortgeschrittene Verschmelzung der beiden Aichwertkurven eines erworbenen tritanopischen Systems bei Sehnervenerkrankung (Neuritis luetica) (S.=$^1/_6$—$^1/_4$) Keine Präzisionsbestimmungen.

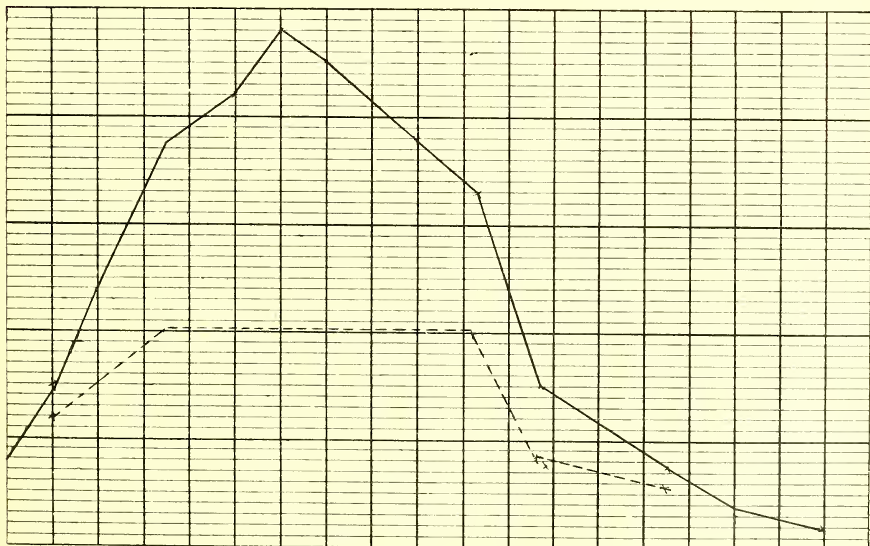


Fig. 23.
Vollendete Verschmelzung der Kurven bei der Blaugelbblindheit zu einer einzigen durch Hinzutreten einer erworbenen Rotgrünblindheit.
———— Untere und obere Grenze der Aichwerte.

Die Aichung während des trichromatischen Stadiums der progressiven Rotgrünblindheit.

In den drei verschiedenen Aichwertkurven, welche sich bei der Analyse der angeborenen Protanopie und Deuteranopie ergeben, kann man zugleich die Aichwertkurven des normalen trichromatischen Farbensystems erblicken, dessen Aichung technisch sehr schwierig ist (S. 50).

Die Figur 19 mit den beiden Aichwertkurven der erworbenen Rotgrünblindheit zeigt nun andererseits, daß aus diesen 3 Kurven des normalen Farbensinnes 2 geworden sind, ersichtlich dadurch, daß die beiden ersten auf irgend eine Weise zu einer verschmolzen sind, während die dritte annähernd unverändert verläuft (man vergleiche Fig. 19 und Fig. 9).

Es wäre nun auch interessant, das allmähliche Verschmelzen der beiden ersten Aichwertkurven des Normalen zu einer einzigen im Verlaufe der zunehmenden Rotgrünblindheit zu studieren. Freilich stößt auch hier die direkte Aichung der Übergangsformen vom normalen Farbensinn zur Rotgrünblindheit auf fast unüberwindliche technische Schwierigkeiten, da die Farbensysteme eben noch trichromatische sind, man also mit einem Dreilichtergemisch arbeiten müßte, anstatt mit zwei Lichtern, wie bei den dichromatischen Farbensystemen.

Will man sich aber einen Überblick verschaffen, kann man sich helfen, indem man tritanopische (blaugelbblinde), also dichromatische Farbensysteme wählt.

Geeignet sind Fälle, bei denen eine entsprechende Sehnervenerkrankung zu einer Tritanopie (angeboren oder erworben) hinzutritt, oder bei welchen ein Sehnervenleiden (z. B. Neuritis) gleichzeitig erworbene Tritanopie (durch Netzhautödem) und Rotgrünblindheit bedingt.

Bei der Tritanopie ist die Aichung nun wieder technisch leicht, weil eben nur ein Zweilichtergemisch notwendig ist, und man kann nunmehr quantitativ die Veränderungen bestimmen, welche das Farbensystem durch die erworbene Rotgrünblindheit erleidet.

Die Berechtigung, tritanopische Systeme zur Untersuchung heranzuziehen, ergibt sich ohne weiteres daraus, daß von den drei Aichwertkurven, welche dem normalen Farbensinn entsprechen (Deuteranopen-W-Kurve, Protanopen-W-Kurve und K-Kurve nach v. Kries), die beiden ersten bei den Tritanopen (erworbenen und angeborenen) nahezu unverändert nachweisbar sind. Umgekehrt liegt bei der erworbenen Rotgrünblindheit die Abweichung vom Normalen gerade im Bereich dieser beiden ersten Kurven, während die dritte (K-Kurve nach v. Kries) nahezu in gleicher Form erhalten bleibt, d. h. eben diejenige, deren Nachweis bei der Blaugelbblindheit nicht mehr gelingt. Ihr Fehlen kann daher auf die Rotgrünblindheit keinen nennenswerten Einfluß ausüben. Im übrigen muß man bedenken, daß es sich bei den Aichwertbestimmungen meist nicht um Präzisionsbestimmungen handelt, wie bei der Protanopie und Deuteranopie.

Wird auf diese Weise die Aichung der beginnenden Rotgrünblindheit vorgenommen, so zeigt sich, daß mit zunehmender Farbensinnstörung die beiden Aichwertkurven sich näher rücken und die mittleren sich kreuzenden Schenkel immer steiler verlaufen und sich somit unter immer spitzerem Winkel kreuzen. Die Gestalt der Aichwertkurven ändert sich also ständig. Die beiden „Endstrecken" des Farbensystems nehmen dadurch beständig an Ausdehnung zu auf Kosten der zwischen beiden liegenden Mittelstrecke.

Schließlich erfolgt die vollkommene Verschmelzung der beiden Aichwertkurven zu einer einzigen. In diesem Moment ist ein monochromatisches System

erreicht oder, wenn man sich nun die fehlende K- (Blauwert-) Kurve wieder hinzudenkt, ein dichromatisches System, nämlich das der erworbenen Rotgrünblindheit (Köllner 78).

Die graphische Darstellung dieser allmählichen Verschmelzung ist auf Figur 20—23 dargestellt.

Diese Veränderung der Aichwertkurven und ihr allmähliches Verschmelzen bedeutet auch hier wieder nichts weiter als die graphische Darstellung dafür in welchem Verhältnis zwei Lichter aus den Enden des Spektrums gemischt werden müssen, um die gleiche Farbenempfindung auszulösen wie die Reihe der homogenen Lichter (vergl. S. 37).

Es wäre durchaus falsch, bei den Aichwertkurven nun sofort an irgendwelche — theoretische — Komponenten des Farbensystemes zu denken, etwa an die drei Komponenten im Sinne der Helmholtzschen Theorie. Täte man das, so müßte man logischer Weise den Schluß daraus ziehen, daß diese „Komponenten" des Farbensystems mit zunehmender Rotgrünblindheit sich beständig verändern, schließlich von dreien zu zweien und gar zu einer verschmelzen. Hieran ist gar nicht zu denken, denn die ganze Aichung hat, wie schon früher betont, mit derartigen Farbensinntheorien garnichts zu tun.

Ihr Ergebnis ist vielmehr lediglich von der Farbenempfindung abhängig und kann sich mit dieser ändern, auch wenn die Erregbarkeit der Netzhaut andauernd ungestört bleibt. Man kann sich z. B. auch im dichromatischen Stadium der Rotgrünblindheit nach wie vor eine beliebige Anzahl von „Komponenten" des Farbensystems innerhalb der Netzhaut denken. Nur können dann deren Erregungen nicht mehr die normalen Farbenempfindungen auslösen, weil sie an irgend einer Stelle dabei gehemmt werden.

b. Das Verhalten gegenüber der Rayleighgleichung.

Eine sehr einfache Überlegung führt dazu, daß die Rayleighgleichung zur Untersuchung der allmählichen Degeneration des normalen Farbensinnes im Sinne der progressiven Rotgrünblindheit außerordentlich geeignet sein muß. Erstens ist das Mischungsverhältnis von Rot und Grün bei dieser Gleichung für den normalen Beobachter ein außerordentlich scharfes, es schwankt nur innerhalb geringer Grenzen (S. 15). Andererseits liegen aber sowohl Lithiumrot wie Thalliumgrün innerhalb der Endstrecke des erworbenen dichromatischen Systems. In diesem Stadium kann somit das Mischungsverhältnis Rot-Grün von reinem Rot bis zum reinen Grün beliebig geändert werden, ohne daß eine Differenz im Farbenton gegenüber dem Natriumgelb entsteht. Es steht demnach theoretisch zu erwarten, daß sich der allmähliche Übergang vom normalen Farbensinn zum dichromatischen System durch eine allmähliche Verbreiterung des zur Gleichung erforderlichen Rotgrüngemisches kundtut. Bestätigt sich diese Überlegung, so wäre gleichzeitig auch eine einfache klinische Methode gefunden, das Fortschreiten der Farbensinnstörung quantitativ zu messen, da die Veränderung des Rotgrüngemisches an geeigneten Apparaten leicht zahlenmäßig bagelesen werden kann.

In der Tat bestehen zwischen dem Verhalten des Normalen bis zum ausgesprochenen Rot-Gelb-Grün-Verwechsler vollkommene Übergänge, indem mit Zunahme der Farbensinnstörung das Rot-Grün-Mischungsverhältnis bei der Rayleighgleichung in immer größerer Breite verändert werden kann, ohne die Gleichung zu stören.

Bei der Untersuchung kommt es nicht darauf an, wie der Beobachter die Lichter nennt, sondern nur, ob die beiden Feldhälften für ihn gleich aussehen oder nicht.

Zunächst erscheint die Einstellung des Rotgrüngemisches für den Normalen, welche am Nagelschen Anomaloskop auch bei Ungeübten höchstens 1—3 Teilstriche umfaßt, verbreitert, bis auf 10—20 Teilstriche der Stellschraubeneinteilung.

Bei längerem Hinsehen unter dem Einflusse der Ermüdung werden auch bereits größere Veränderungen des Farbengemisches nicht mehr erkannt. Bei weiterem Fortschreiten der Farbensinnstörung wird die Begrenzung besonders nach dem Grün hin unscharf. Es kommen hier häufige Fehler vor. Geübte Beobachter erkennen noch Unterschiede im Farbenton, aber für Ungeübte erscheint die Differenz zwischen Natriumgelb und Thalliumgrün so gering, daß sie sofort oder nach kurzer Ermüdung erlischt und nunmehr eine vollkommene Gleichung zwischen den beiden homogenen Lichtern angenommen wird. Schließlich wird diese Gleichung stets und auch von nicht ermüdetem Auge angenommen, während die Rayleighgleichung nach Lithiumrot hin in der Regel noch relativ scharf begrenzt bleibt.

Schließlich wird auch zwischen Natriumgelb und Lithiumrot die Gleichung angenommen, aber meist erst, nachdem schon vorher die Gleichung zwischen Gelb und Grün möglich war.

Seltener ist umgekehrt die Begrenzung der Rayleighgleichung nach der Seite Lithiumrot hin unschärfer, wie nach Grün. Zuweilen kann es dabei vorkommen, daß beim ersten Blick eine Gleichung zwischen Gelb und Rot angenommen wird, dagegen Gelb und Grün unterschieden. Allerdings ändert sich das meist wenn der Patient einige Sekunden das Objektfeld fixiert.

Die Beurteilung dieser Verschiedenheiten im Verhalten gegenüber der Zumischung von Rot und Grün muß mit umso größerer Vorsicht geschehen, als neuerdings auch bei Normalen hier in ähnlicher Weise Unterschiede gefunden wurden, in dem Sinne, daß die einen eine gewisse Unterempfindlichkeit für Zumischung von Grün, eine ganze Anzahl dagegen für Zumischung von Rot zur Rayleighgleichung des Normalen aufwiesen (vgl. S. 56).

Zuweilen werden beim Betrachten der Vergleichsfelder Gleichungen zwischen Na und Tl sowie Na und Li angenommen, nach etwas längerem Hinsehen aber sehen die Patienten, be-

sonders wenn sie auf die Bedeutung kleiner Farbendifferenzen hingewiesen werden, doch noch Unterschiede sehen, so daß sich die Einstellungsbreite des Rotgrüngemisches nachträglich wesentlich reduzieren läßt. Bei weniger intelligenten Patienten ist dies oft nicht möglich. Scharfe Zahlenwerte für die Begrenzung des Rotgrüngemisches, das zur Rayleighgleichung erforderlich ist, sind somit immer mehr oder weniger schematisch und von Nebenumständen (Intelligenz, Aufmerksamkeit, Zeit, Ermüdung usw.) abhängig. Trotzdem lassen sich schon bei geringer Erfahrung brauchbare Mittelwerte als Maßstab für den Grad der Farbensinnstörung erhalten.

Beispiele. Zur Untersuchung eignet sich besonders für klinische Institute das Nagelsche Anomaloskop (vergl. S. 70).

Es wird im allgemeinen schwer sein, ein und denselben Fall von Sehnervenerkrankung so lange zu beobachten, bis der normale Farbensinn in das Stadium der Farbenblindheit verwandelt ist, in welchem Lithiumrot und Natriumgelb, wie Na-Gelb und Thalliumgrün gleich erscheinen. Im folgenden gebe ich die Einstellungen eines Beobachters mit schnell verlaufender tabischer Sehnervenatrophie am Anomaloskop wieder:

Datum	Sehvermögen	Spaltweite des Kollimators für das Rotgrüngemisch, mit welcher die Gleichung angenommen wurde	Bemerkungen
13./3.	$^1/_3$—$^1/_2$	37	35 sowie 40 deutlich verschiedenfarbig, daher abgelehnt
13./7.	$^1/_4$	0—50 d. h. Tl = Na (mehrmalige Prüfung)	60 wird stets als verschiedenfarbig angegeben. Nur bei langer Ermüdung hin und wieder auch noch angenommen.
19./7.	$^1/_6$—$^1/_4$	0—100 d. h. Tl = Na = Li	(daraus folgt übrigens noch nicht Tl = Li, obwohl es erfahrungsgemäß meist der Fall ist)
20./7.	$^1/_6$—$^1/_4$	0—100 d. h. Tl = Na = Li (sehr häufige Einstellung)	

Die folgenden Zahlen erstrecken sich auf eine Reihe von Beobachtern, die sich in den verschiedenen Stadien der Sehnervenerkrankung befanden. Etwa 20 Fälle beginnender tabischer Sehnervenatrophie (Sehvermögen = 1—$^2/_3$), bei welcher die Rayleighgleichung vollkommen normal war, sind nicht aufgeführt.

Tabische Sehnervenatrophien.

	Einstellung des Rotgrün-gemisches	Bemerkungen
1.	35—40	wenn ermüdet 30—45
2.	40—45	
3.	30—38	
4.	37—41	
5.	40—43	
6.	40—43	
7.	33—38	
8.	38—42	
9.	35—40	
10.	30—40	nur sehr spärliche Farbendifferenz nach rot und grün hin wahrgenommen. Bei dem ersten Blick wird zuweilen eine Gleichung zwischen Na und Tl, sowie zwischen Na und Li angenommen, die erst bei genauerem Hinsehen wieder abgelehnt wird.
11.	30—50	Es bestand auf beiden Augen eine tabische Atrophie verschiedenen Grades. Da auf dem anderen Auge der Farbensinn noch normal war, konnte diese Einstellung durch wechselseitige Kontrolle sicher festgestellt werden.
12.	0—38	
13.	R 0—40	nur sehr geringe Farbendifferenz nach dem Rot hin. Beim ersten Hinblicken wird Na und Li gleich gesehen. Nachdem der Beobachter auf die Bedeutung geringer Farbendifferenzen hingewiesen wurde, wurde sie wieder abgelehnt.
14.	L 0—40	
15.	0—65	
16.	0—65	
17.	0—70	
18.	0—70	
19.	0—60	
20.	10—80	zuweilen auch Gleichung zwischen Na und Tl (also 0—80).
21.	0—60	zuweilen besonders bei Ermüdung auch Gleichung zwischen Na und Li (also 0—100).

Als Beispiel, daß zuweilen die Grenze der Rayleighgleichung umgekehrt nach Lithiumrot hin weniger scharf ist als nach Grün hin, mag folgender Fall dienen:

Chronische Alkoholintoxikation des Sehnerven; das Sehvermögen war innerhalb 8 Wochen von $^1/_{10}$ auf $\frac{1}{2}$ gestiegen. Auf den ersten Blick wurde Gleichung zwischen Lithiumrot und Natriumgelb angenommen, nicht aber zwischen Thalliumgrün und Gelb. Nach einigen Sekunden trat die Farbendifferenz schärfer hervor, sodaß sehr bald die Einstellungsbreite des Rotgrüngemisches sich auf 35—40 am Anomaloskop einengen ließ. Stets erschien aber der Kontrast zwischen Grün und Gelb stärker, als zwischen Gelb und Rot[1]).

[1]) Später näherte sich der Farbensinn wieder dem Normalen.

Nach den bisherigen Erfahrungen wird die Rayleighgleichung des Normalen auch bei der beginnenden Rotgrünblindheit anerkannt (Köllner 78). Einzelne Ausnahmen die sich natürlich nur in den ersten Stadien der Rotgrünblindheit bemerkbar machen können, sind beobachtet worden (2 unter etwa 60—80). Es wurde die Einstellung des anomalen Trichromaten gewählt. Bis zahlreichere Beobachtungen hierüber vorliegen, kann vorläufig angenommen werden, daß es sich tatsächlich um solche gehandelt hat. Wäre es doch auch wunderbar, wenn unter den vielen untersuchten Fällen nicht auch derartige Anomale vorhanden wären.

Damit scheint die erworbene Rotgrünblindheit auch in ihren Anfangsformen stets eine reine Reduktionsform des normalen Farbensinnes darzustellen (im Sinne v. Kries, S. 50).

Die Rot-Gelb-Gleichung (Lithiumrot — Natriumgelb).

Ist nun mit der zunehmenden Farbensinnstörung das dichromatische Stadium erreicht, so kann an Stelle des Rotgrüngemisches der Rayleighgleichung das reine Lithiumrot treten. Man erhält so eine Scheingleichung zwischen Natriumgelb und Lithiumrot, welche gleichsam die Fortsetzung der Rayleighgleichung darstellt und natürlich stets mit demselben Apparat — ich empfehle wieder das Anomaloskop — vorgenommen werden kann. Bekanntlich dient die Rotgelbgleichung auch als Haupt-Unterscheidungsmittel zwischen den beiden Formen der angeborenen Rotgrünblindheit, der Protanopie und Deuteranopie (S. 46). Auch der erworben Rotgrünblinde erhält wie dort eine vollkommene Gleichung zwischen Lithiumrot und Natriumgelb, da beide Lichter für ihn innerhalb einer Endstrecke liegen; es ist nur notwendig, das Helligkeitsverhältnis beider Lichter zu regulieren. Hierin unterscheiden sich bekanntlich auch die angeborenen Protanopen und Deuteranopen; erstere brauchen ein 4mal so dunkeles Gelb wie die Deuteranopen, um beide Lichter vollkommen gleich zu sehen.

Das Helligkeitsverhältnis, in welchem die Lichter Lithiumrot und Natriumgelb gleich gesehen werden, ist bei der typischen erworbenen Rotgrünblindheit in gewissem Umfange konstant, ein weiterer Grund, vorläufig der Einfachheit wegen von einer „typischen" erworbenen Rotgrünblindheit zu sprechen. Dabei ist es ohne Einfluß, ob ein degenerativer oder entzündlicher Prozeß innerhalb der Sehbahn die Grundlage für die Farbensinnstörung abgibt, ob Neuritis nervi opt. luetica oder multiple Sklerose, Tabes usw. vorliegt.

Am zweckmäßigsten ist es, dieses Helligkeitsverhältnis, in dem die Rot-Gelb-Gleichung angenommen wird, von vornherein nach dem leicht bestimmbaren, für die Protanopen und Deuteranopen geltenden zu beurteilen, d. h. diese gewissermaßen als „Marken" zu betrachten.

Tut man das, so findet man folgende Eigentümlichkeiten (vorausgesetzt, daß der Farbensinn vorher normal war):

1. Das Helligkeitsverhältnis, bei welchem der Protanop die beiden Farben Rot und Gelb gleich sieht, wird fast stets und sofort abgelehnt, vorausgesetzt, daß das Sehvermögen nicht soweit herabgesetzt ist, daß überhaupt eine Prüfung in Frage gestellt ist (etwa geringer als $^{1}/_{10}$). Und zwar erscheint das Gelb, das der Protanop verlangt, dem erworben Rotgrünblinden zu dunkel. Eine Verwechselung des Protanopen mit dem dichromatischen Stadium der progressiven Rotgrünblindheit ist deswegen schwer[1]).

2. Das Helligkeitsverhältnis des Deuteranopen dagegen wird auch bei der erworbenen Rotgrünblindheit fast stets anerkannt, so daß beide hierin übereinstimmen.

3. Bei der erworbenen Rotgrünblindheit kann aber, im Gegensatz zur Deuteranopie, meist die Intensität des Gelb gegenüber dem Rot[2]) in beträchtlichem Umfange verändert werden, ohne daß der Patient eine Differenz zwischen den beiden Feldhälften bemerkt. So kommt es, daß er meist Rot und Gelb noch bei einem Helligkeitsverhältnis der Lichter gleich sieht, das nun der Deuteranop seinerseits wieder bestimmt ablehnt (vergl. Tabelle S. 165). Diese geringe Empfindlichkeit des Patienten gegenüber Intensitätsveränderungen der beiden Vergleichslichter wurde schon bei der Besprechung der Aichung erwähnt (S. 154).

Sie ist jedoch nicht immer in gleichem Maße vorhanden, sondern hängt zum großen Teil von dem Grade der Rotgrünblindheit ab. Anfangs, d. h. wenn gerade das dichromatische Stadium beginnt, kann die Einstellungsbreite für die Helligkeit innerhalb deren die Rotgelbgleichung angenommen wird, noch einigermaßen scharf sein und sich hierin von derjenigen der Deuteranopen nur wenig unterscheiden. Sehr bald aber nimmt die Einstellungsbreite beträchtlich zu und schließlich ist sie bei zunehmender Funktionsstörung überhaupt kaum noch zu begrenzen, d. h. man kann die Intensität des Gelb beinahe unbegrenzt verändern, und trotzdem sieht der Patient keine Differenz zwischen

[1]) Wird die Rotgelbgleichung des Protanopen doch angenommen so muß daran gedacht werden, daß eine angeborene Protanopie oder auch ein protanomales trichromatisches Farbensystem vorgelegen haben kann (S. 186).

[2]) Auch umgekehrt die Intensität des Rot gegenüber dem Gelb.

den beiden Feldhälften, die der Normale Rot und Gelb sieht. Der angeboren Farbenblinde würde solche Indolenz niemals zeigen.

Einige Beispiele mögen die Erläuterung geben. Die Untersuchungen sind am Anomaloskop vorgenommen.

Als Beleuchtung diente eine Nernstlampe. Die Helligkeit des Lithiumrotes blieb stets konstant, die Helligkeit des Gelb wurde mit Hülfe der entsprechenden Stellschraube des Apparates solange reguliert, bis das Rot und Gelb von den Farbenblinden völlig gleich gesehen wurde (natürlich gelblich). Die Zahlen der Tabelle entsprechen der Stellschraubeneinteilung im Apparat; ihre absolute Höhe ist belanglos, da sie zu sehr von der Art der Lichtquelle abhängt, für jeden Apparat somit sich ändert und besonders bestimmt werden muß. Die Grenzen der Einstellungen, d. h. die niedrigsten und höchsten Grenzwerte wurden in der Weise gewonnen, daß zunächst das Natriumgelb zu dunkel gemacht und dann die Einstellung gesucht wurde, bei welcher beide Felder gleich gesehen wurden. Ebenso wurde sodann von einer zu großen Helligkeit des Gelb ausgegangen. Die Gleichung Gelb-Rot wurde also gewissermaßen von beiden Seiten eingeengt (dieses Vorgehen erwies sich als notwendig, da im umgekehrten Falle die Schwankungen bei der erworbenen Rotgrünblindheit zu groß wurden).

Einstellungen der Helligkeit des Natriumgelb am Nagelschen Anomaloskop, die erforderlich waren, um die gleiche Empfindung wie ein konstantes Lithiumrot hervorrufen.

a) Bei Protanopen (nur ungeübte Beobachter)	b) Bei Deuteranopen (nur ungeübte Beobachter)	c) Bei erworb. Rotgrünblinden (tabische Atrophien)	
8 mit ± 0,5 Fehler	28—32	23—33	
8—9	(Selbsteinstellung 33)	20—33	Sehvermögen = 1/6
8	30—32	20—35	
7—9		18—40	
8—9		18—50	„ = 1/10
		23—>100	
		15—>100	„ = 1/12

(Die Einstellungen wiederholen sich bei einer großen Reihe Rotgrünblinder in gleicher Weise. Es sind hier nur einzelne Beispiele herausgegriffen worden.)

Man ersieht sofort an der Tabelle den Unterschied zwischen den drei Formen von Rotgrünblindheit: den beiden angeborenen Formen, Protanopie und Deuteranopie, mit ihren scharf und eng begrenzten Einstellungen steht die erworbene Rotgrünblindheit gegenüber, welche sich durch eine viel größere Einstellungsbreite auszeichnet.

Für die allmähliche Zunahme der Einstellungsbreite sei noch folgendes Beispiel angeführt:

Tabische Sehnervenatrophie mit typischer erworbener Rotgrünblindheit: Einstellungen der Helligkeit des Natriumgelb, die erforderlich waren, um einem konstanten Lithiumrot gleich zu erscheinen:

1. Untersuchung S = 1/6 20—27
2. Untersuchung S = 1/10—1/6 20—35
3. Untersuchung S = 1/12—1/10 20—100

Mit der Protanopie wird eine Verwechselung seltener vorkommen, da die Rotgelbgleichung des Protanopen von erworben Rotgrünblinden abgelehnt wird, vorausgesetzt, daß die Farbensinnstörung sich nicht schon zu sehr der totalen Farbenblindheit nähert.

Auch von der Deuteranopie ist in fortgeschrittenem Stadium die Unterscheidung nicht schwer, schon wenn man die Rotgelb-(Lithium-Natrium) gleichung anwendet, denn der Deuteranop ist eben sehr empfindlich für Änderungen in der Helligkeit des Natriumgelb, während der erworbene Rotgrünblinde eine geradezu charakteristische Unempfindlichkeit besitzt.

Die Möglichkeit einer Verwechslung besteht aber dann, wenn die erworbene Rotgrünblindheit sich noch im Anfangsstadium befindet, (d. h. wenn soeben der Übergang vom trichromatischen zum dichromatischen Sehen stattgefunden hat[1])). Denn zu dieser Zeit ist die Empfindlichkeit des erworbenen Rotgrünblinden für Helligkeitsänderungen des Natriumgelb noch einigermaßen erhalten. Nimmt man in solchen Fällen eine direkte Gegenüberstellung beider vor, so zeigt sich meist, daß auch hier wieder der erworbene Rotgrünblinde gegenüber dem Deuteranopen noch im Nachteil ist, allerdings ist der Unterschied zuweilen so gering, daß er praktisch nicht mehr verwertet werden kann.

Beispiel: Tabische Sehnervenatrophie, bei welcher vor einigen Monaten noch die Farbenempfindung nicht merklich von der des Normalen abwich. Noch am 13. VII. 1909 war das dichromatische Stadium der Rotgrünblindheit nicht erreicht, wenngleich der Unterschied nur noch gering war. Bereits 5 Tage später bestand Dichromasie, und es wurde Natriumgelb und Lithiumrot vollkommen gleich gesehen. Jetzt wurde die Gegenüberstellung mit einem Deuteranopen am Anomaloskop vorgenommen, beide waren ungeübt in derartigen Beobachtungen. Stellte der Patient sich selbst die Helligkeit des Natriumgelb ein, welche zur völligen Gleichung mit Lithiumrot notwendig war, so ergaben sich bei 10 Einstellungen Schwankungen von 15—24 (Stellschraubeneinteilung); die 10 Einstellungen des Deuteranopen schwankten nur von 17—20. Die Einstellungen des Patienten wurden häufig vom Deuteranopen abgelehnt, die beiden Felder Rot-Gelb stimmten für ihn nicht völlig überein. Dagegen wurden die Einstellungen des Deuteranopen vom Patienten stets ohne weiteres anerkannt.

Bei einer zweiten Gegenüberstellung eines anderen Falles tabischer Sehnervenatrophie mit einem Deuteranopen wurde umgekehrt die Helligkeit des Lithiumrotes verändert, während das Natriumgelb konstant blieb (die Untersuchung geschah am Helmholtzschen Spektralfarbenmischapparat im physiologischen Institut). Der Deuteranop stellte die Spaltweite des Rot auf 65,9 (Mittelwert aus 14 Einstellungen, bis zu ± 1,9 Fehlerbreite), dem Patienten dagegen konnte das Lithiumrot von 50—85 verändert werden, ohne daß er eine Differenz zwischen beiden Vergleichsfeldern Rot-Gelb bemerkte; er erkannte die Einstellungen des Deuteranopen ohne weiteres an, während umgekehrt

[1]) Das gilt natürlich immer wieder nur für die jeweilige Versuchsanordnung.

wieder der Deuteranop viele seiner Einstellungen ablehnte. Also das gleiche Ergebnis wie vorher.

Die klinische Untersuchung der progressiven Rotgrünblindheit.

Unerläßlich für den Praktiker ist, daß die klinische Untersuchung der Rotgrünblindheit mit Apparaten vorgenommen werden kann, die weder im Preise unerschwinglich sind, noch eine besonders schwierige Technik erfordern. Damit scheidet die Mehrzahl der Spektralapparate völlig aus und wir sind vorwiegend auf farbige Pigmente (Papiere, Tuche) sowie Lichtfilter (bes. farbige Gläser) angewiesen. Wünschenswert ist es ferner, Methoden anzuwenden, die gleichzeitig auch der Diagnostik der angeborenen Farbensinnstörungen dienen.

Verlangt werden muß von einer brauchbaren Untersuchungsmethode:

1. daß die progressive Rotgrünblindheit in ihren ersten Anfängen nachgewiesen werden kann,
2. daß sie von angeborenen Farbensinnstörungen möglichst unterschieden wird,
3. daß der Grad der progressiven Rotgrünblindheit quantitativ bestimmt, ja wenn möglich zahlenmäßig ausgedrückt werden kann.

a) Qualitative Untersuchung auf progressive Rotgrünblindheit.

Bei ihr kommt es darauf an, daß überhaupt die Rotgrünblindheit nachgewiesen wird, nicht aber, welcher Grad der Störung vorliegt.

Die Holmgreenschen Wollproben, die Stillingschen und Nagelschen Tafeln kommen für die Untersuchung nicht in Betracht. Die ersteren schon wegen ihrer Größe, die letzteren beiden, weil sie zwar „Farbenuntüchtigkeit" im Sinne einer Rotgrünblindheit festzustellen gestatten, aber nicht die Unterscheidung, ob eine angeborene Störung vorliegt oder eine erworbene. Ebenso wenig genügt das einfache Vorhalten farbiger Objekte, auch wenn sie aus sorgfältig ausgesuchten Farben bestehen. Gewiß kann damit in vielen Fällen die Diagnose gestellt werden, aber es können ebenso leicht Irrtümer unterlaufen (vergl. S. 360).

Die erste Stelle bei der Diagnose der progressiven Rotgrünblindheit nimmt — im Gegensatz zur angeborenen — zweifellos das Benennenlassen farbiger Objekte ein nnd zwar mit Hilfe der Perimeter-Untersuchung. Allerdings ist Voraussetzung, daß sie sorgfältig und methodisch ausgeführt wird.

Die ersten Anfänge der Rotgrünblindheit können nur auf diese Weise festgestellt werden.

Die Perimeteruntersuchung kann aber niemals für alle Fälle allein ausreichend sein. Überhaupt ist es bei erworbenen Farbensinnstörungen[1]) erwünscht mit verschiedenen Methoden zu untersuchen. Es ist deswegen ratsam, möglichst in jedem Falle eine weitere Kontrolluntersuchung vorzunehmen, und zwar mit Gleichungen zwischen zwei Farben, um sich von den Benennungen der farbigen Objekte unabhängig zu machen. Hierfür kann als einfacher und brauchbarer Apparat der Farbengleichungsapparat nach Nagel-Köllner empfohlen werden, der auch zur Diagnose angeborener Farbensinnstörungen verwendet wird (S. 80).

Natürlich können Farbenapparate, welche in ähnlicher Weise konstruiert sind, ganz dasselbe leisten, da es im wesentlichen nur auf das Prinzip ankommt. Die Vorzüge des genannten Farbengleichungsapparates bestehen nur in seiner Einfachheit und Billigkeit bei ausreichender Leistungsfähigkeit.

Als dritte Kontrollprüfung empfiehlt sich die Rayleighgleichung, die sich dort, wo das Anomaloskop vorhanden ist, in sehr einfacher Weise ausführen läßt. Wie sich die Patienten bei der progressiven Rotgrünblindheit ihr gegenüber verhalten, ist S. 159 ausgeführt.

Im einzelnen ist für die Untersuchung auf Rotgrünblindheit hierzu noch folgendes zu bemerken:

1. Die Perimeteruntersuchung. (Methodik S. 385). Mit ihrer Hülfe läßt sich, wie gesagt, der Beginn der Farbensinnstörung am frühesten nachweisen, und sie wird in dieser Beziehung auch vorläufig kaum übertroffen werden. Denn es gelingt an ein- und demselben Patienten direkt den Übergang der Farbenempfindung im erkrankten Abschnitte des Sehorganes mit den benachbarten gesunden Teilen zu vergleichen. Zeigt man dagegen kleine noch so sorgfältig gewählte farbige Objekte nur im Fixierpunkt und findet dann eine leichte Störung des Farbensinnes, so steht man wieder vor der Frage: ist das nun bereits pathologisch oder nicht, handelt es sich nicht etwa nur um individuelle Verschiedenheiten. Ist dagegen die Farbenempfindung bei demselben Beobachter gegenüber benachbarten Gesichtsfeldpartien herabgesetzt, so ist damit das letztere Bedenken ausgeschaltet.

In welcher Weise sich die Rotgrünblindheit am Perimeter äußert, läßt sich nach ihrem Wesen sofort entnehmen. Am besten werden rote (etwa dem spektralen Rot entsprechend), grüne

[1]) Bei den angeborenen ist es übrigens auch nicht viel anders (vgl. S. 65).

(mehr Bläulichgrün, dem neutralen Punkte im Spektrum annähernd entsprechend), gelbe und blaue Farben angewendet.

Zunächst erscheint das Grün an der Stelle des Gesichtsfeldes an der die Farbensinnstörung besteht, blaßgrün und dann grau bezw. farblos, bald oder auch gleichzeitig macht sich die beginnende Änderung des Farbentones des roten Objektes bemerkbar: es wird schmutzig rot, orange, schließlich graugelb genannt. Blau und Gelb dagegen behalten ihre Farbe, werden nur blasser (ungesättigter).

Für die Feststellung einer Rotgrünblindheit am Perimeter sind nur Änderungen im Farbenton oder der Sättigung der Objekte zu verwerten. Allein daraus, daß z. B. innerhalb eines Skotoms die Farben „dunkler“ oder „heller“ gesehen werden, kann keine Diagnose gestellt werden. Die Entscheidung zu treffen ob ein Patient mit „heller“ wirklich nur eine Änderung der Helligkeit der Farbe, oder doch eine Sättigungsabnahme, ein Weißlicherwerden meint, ist allerdings oft schwer.

Je ungesättigter die Farben, je kleiner die Objekte usw. sind, desto früher läßt sich die Rotgrünblindheit nachweisen. Deswegen wählt man für die Diagnose der Anfänge der Rotgrünblindheit kleine (1 mm Seitenlänge) und ungesättigte Farbenobjekte (vergl. näheres Abschnitt III).

Daß die Wahl der Farbentöne von Rot und Grün einen beträchtlichen Einfluß auf das Untersuchungsergebnis haben muß, braucht kaum erst betont zu werden.

Scheinbare Abweichungen von dem eben kurz skizzierten Verhalten der Rotgrünblinden kommen häufig vor, ohne daß man berechtigt ist, daraus bereits den Schluß zu ziehen, daß es sich um „atypische“ Formen von Farbenblindheit handelt. Um diese festzustellen, sind vielmehr weitere eingehende Untersuchungen erforderlich. So wird zuweilen die Sättigungsabnahme der grünen Perimeterobjekte später erkannt, als die auffällige Tonänderung des Rot. Die Patienten nennen dann das grüne Objekt noch grünlich, das rote aber nicht mehr rot. Dadurch kommt eine Umkehrung der Reihenfolge der Farben zu stande, indem das rote Objekt scheinbar eher seine Farbe verliert, wie das grüne. Gelb wird zumal wenn es von vornherein eine wenig gesättigte Farbe hat, bei weiterer Abblassung auch mal vom Patienten weiß genannt; dann kann möglicherweise Blaugelbblindheit vorgetäuscht werden (letztere ist aber nur zu diagnostizieren, wenn die charakteristische Störung im Erkennen blauer Farben vorliegt).

Je mehr die Farbensinnstörung zunimmt, mit desto größeren

Objekten und desto leichter ist der Nachweis der Veränderung. Man kann daher die Objektgröße des Perimeters bis zu einem gewissen Grade auch als Anhaltspunkt für den Grad der Rotgrünblindheit benutzen (näheres s. S. 172ff.). Das gilt jedoch stets nur für ein und dieselbe Netzhautstelle.

Je weiter man in der Peripherie des Gesichtsfeldes untersucht, desto größere Farbenquadrate sind notwendig, um die ersten Zeichen der Rotgrünblindheit festzustellen, weil eben schon normaler Weise hier ein mehr oder weniger hoher Grad von Rotgrünblindheit vorliegt. Bestimmte Zahlenangaben zu machen, welche Objektgröße etwa einem bestimmten Parallelkreise des Gesichtsfeldes entspräche, ist unmöglich, da die periphere Farbenempfindung noch von anderen Faktoren abhängt (S. 38). Man probiert am besten die gewählte Versuchsanordnung jedesmal an normalen Beobachtern vorher aus.

Untersuchung mit Gleichungen zwischen zwei Farben.

In diesem Falle wird absichtlich von der Benennung ganz abgesehen und nur festgestellt, ob allein durch Regulierung der Lichtintensität der beiden nebeneinander sichtbaren Farben beide für den Patienten völlig gleichfarbig gemacht werden können.

Man benutzt hierfür erstens die Erscheinung, daß bei der Rotgrünblindheit allmählich Rot, Gelb und Grün sich im Farbenton einander nähern, d. h. gelblich werden und zweitens gleichzeitig mehr oder weniger weißlich werden (Sättigungsabnahme).

Am Nagel-Köllnerschen Gleichungsapparat stellt man daher am besten für den Patienten der Reihe nach folgende Scheingleichungen ein, wenn Verdacht auf progressive Rotgrünblindheit vorliegt:

Gleichungseinstellungen (Seitenlänge 5—20 mm)	Das Farbensehen des Patienten für diese Versuchsanordnung ist wahrscheinlich:
1. (Bläulich-)Grün — Weiß 2. (Gelblich-)Grün — Weiß 3. Gelb — (Gelblich-)Grün	noch trichromatisch, wenn nur diese Gleichungen angenommen werden.
4. Gelb — Rot 5. (Gelblich-)Grün — Rot 6. Weiß — Rot	bereits dichromatisch, wenn außerdem auch noch Gleichung 4, 5 oder 6 anerkannt werden.
7. Blau — Rot	annähernd total farbenblind.

Je weiter die progressive Rotgrünblindheit fortgeschritten ist, desto mehr dieser Einstellungen ergeben für den Patienten eine Gleichung. Werden bereits Gleichungen zwischen Gelb und Rot sowie zwischen (Gelblich-)Grün und Rot angenommen, so ist (nur für die betreffende Versuchsanordnung!) das dichromatische Stadium erreicht. Wird zwischen Rot und Blau — und natürlich auch allen vorangegangenen Einstellungen — eine Gleichung erzielt, so ist etwa das total farbenblinde Stadium erreicht.

Man findet oft, daß z. B. Gelb und Rot eine vollkommene Gleichung ergeben, ebenso Gelb und Weiß, dagegen nicht Rot und Weiß. Das mag auf den ersten Blick unmöglich erscheinen; allein, die Rotgrünblindheit stellt ja eine quantitative Störung dar. Es können dabei schließlich kleine Sättigungsdifferenzen auftreten, die sich bei der Rotgelb- und Gelbweiß-Einstellung für den Patienten nicht mehr bemerkbar machen, dagegen sich bei der Rotweiß-Einstellung so summieren, daß zwischen beiden ein Unterschied noch vorhanden ist. Auch aus den Gleichungen Rot-Weiß und Blau-Weiß folgt durchaus nicht, daß auch die Einstellung Rot-Blau völlig gleich erscheint. Der Farbenkontrast macht sich hier noch bemerkbar und die beiden Felder werden oft noch als gelblich-bläulich farbig unterschieden. Da es sich meist schon um ein stark herabgesetztes Sehvermögen handelt und den erworben Farbenblinden auch die Schulung der angeboren Farbenblinden häufig fehlt, sind die Einstellungen jedoch nicht immer so konstant und können nicht ohne weiteres schematisiert werden.

Durch Verkleinerung des Gesichtswinkels (Verkleinerung der Objektfelder und größerer Abstand zwischen Apparat und Beobachter) können die Beobachtungsbedingungen jederzeit erschwert und damit die Erkennung der Farben entsprechend beeinflußt werden (Abhängigkeit der Rotgrünblindheit von den Beobachtungsbedingungen, S. 151).

Die Entfernung des Beobachters vom Apparat richtet sich bis zu einem gewissen Grade nach dem Sehvermögen. Es ist erforderlich, daß die beiden Vergleichsfelder gut räumlich unterschieden werden. Bei einer Herabsetzung bis zu $^1/_6$ kann etwa in 1 m Entfernung geprüft werden.

Für Fälle mit Verdacht auf beginnende Rotgrünblindheit, für die also in erster Linie die Grün-Weißgleichung in Betracht kommt, wird der Gesichtswinkel möglichst klein gewählt. Am Normalen kann man sich jederzeit überzeugen, wie weit man abgehen kann, damit normaler Weise beide Vergleichsfelder noch deutlich farbig unterschieden werden können. Refraktionsanomalien werden wenigstens soweit korrigiert, daß eine mühelose räumliche Unterscheidung der Vergleichsfelder möglich ist.

Für das Helligkeitsverhältnis, in welchem die Farben vom Patienten gleich gesehen werden, kann als Anhaltspunkt dienen, daß es etwa dem entspricht, in welchem sie auch dem Normalen gleich hell (natürlich verschiedenfarbig) erscheinen. Man macht also zweckmäßig für sich selbst die beiden Farben annähernd gleichhell, läßt dann den Patienten hineinblicken und nimmt dann noch etwaige kleinere Regulierungen vor. In fortgeschrittenen Stadien der Rotgrünblindheit werden die letzteren im allgemeinen überflüssig, weil die Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede hier bereits recht gering ist.

Weiteres über Methodik der Untersuchung mittels Gleichungen s. S. 184 und Abschnitt III, S. 364.

b) Die quantitative Messung des Grades der progressiven Rotgrünblindheit.

Schon am Perimeter kann man bis zu einem gewissen Grade die progressive Farbensinnstörung quantitativ bestimmen, indem man die Größe der farbigen Quadrate ändert und angibt, ob ein Gesichtsfeldausfall für rote und grüne Objekte von 2 mm oder 5 mm Größe usw. besteht. Keinen Wert für den Grad der Farbenblindheit haben dagegen die so häufigen Angaben, welche weiter nichts enthalten, als z. B. „Skotom für Rot und Grün". Allein durch Verkleinerung der farbigen Quadrate kann das Skotom in ein „totalfarbenblindes" verwandelt werden, umgekehrt wird durch Vergrößerung der Quadrate die Farbenempfindung scheinbar verbessert.

Sehr erwünscht wäre es nun, den jeweiligen Grad der Rotgrünblindheit, zahlenmäßig messen zu können, denn in vielen Fällen ist die Rotgrünblindheit zugleich ein Ausdruck für den Grad der Funktionsstörung des Sehorganes überhaupt (S. 177). Zu diesem Zwecke müßte man sich freilich in ähnlicher Weise auf eine einheitliche Skala einigen, wie es seit alters bei der Bestimmung der Sehschärfe geschieht.

Leider ist es bisher noch nicht gelungen, eine einheitliche befriedigende Methode zur Messung der Rotgrünblindheit zu finden. Die Schwierigkeiten sind in der Tat auch sehr groß und beruhen vor allem darauf, daß es keine allgemeingültigen „Standardfarben"[1]) gibt. Spektralapparate sind für die Praxis zu teuer und die Apparate mit Pigmentfarben und farbigen Gläsern haben viel Mängel (vergl. auch Abschnitt III).

Trotzdem ist es falsch, alle Bemühungen aus diesem Grunde ganz aufzugeben. Es handelt sich eben darum, eine Untersuchungsmethode zu finden, deren Fehler so gering sind, daß sie gegenüber den (ziemlich beträchtlichen) Beobachtungsfehlern der Patienten praktisch vernachlässigt werden können[2]).

An Versuchen quantitative Methoden zu finden, hat es nie gefehlt. Früher zog man im allgemeinen die Bestimmung von „Schwellenwerten" vor, d. h. man ließ sich vom Patienten den Moment sagen, in welchem ein meßbar veränderliches farbiges

---

[1]) Eine Aussprache über die Bestimmung internationaler Standardfarben fand auf dem IV. Kongreß d. Gesellsch. f. experim. Psychologie 1910 statt und führte zu einem negativen Ergebnis.

[2]) Auch unsere gebräuchliche Sehschärfeprüfung hält durchaus nicht einer streng wissenschaftlichen Kritik stand und gilt doch als ein praktisch brauchbares Mittel, den Grad der Funktionsstörung des Sehorganes zu messen.

Objekt in seiner „spezifischen“ Farbe (ein rotes Objekt rot usw.) gesehen wurde. Heute neigt man mit Recht mehr dazu, Gleichungen zwischen zwei farbigen Feldern zu verwenden, weil man so exaktere Angaben erzielt.

Die früheren Bestrebungen um quantitative Methoden gingen fast durchweg dahin, nicht nur den Grad der Rotgrünblindheit zu bestimmen, sondern festzustellen, ob der Farbensinn überhaupt gestört war und den Grad der Störung dann einfach in Zahlen auszudrücken. Hierdurch wurde die Sache noch erschwert; denn der Einfluß der Objektfarben hat einen größeren Einfluß auf das Ergebnis und es können leichter Irrtümer vorkommen, wenn mit der quantitativen Prüfung der Farbensinnstörung noch die qualitative verbunden ist. Es wird zweckmäßig sein, vorläufig in Zukunft noch davon abzusehen und sich auf die Rotgrünblindheit zu beschränken.

Über die eingeschlagenen und einzuschlagenden Wege zur Messung der Rotgrünblindheit läßt sich folgendes sagen.

Bestimmung der Schwellenwerte.

Es handelt sich, wie gesagt, darum, den geringsten Reizwert festzustellen, bei welchem ein farbiges Objekt die ihm eigentümliche Farbenempfindung hervorruft.

Man könnte sich also auf vier ganz bestimmte Farben Rot, Grün, Gelb und Blau einigen, so gut es eben möglich ist. Dann hätte der Patient anzugeben, wann ihm das grüne Objekt grün, das rote rot erschiene; ebenso wann er das gelbe und das blaue erkennt; natürlich sieht er die beiden letzten Farben länger bezw. besser, wie Rot und Grün.

Derartige Schwellenbestimmungen sind praktisch aber nicht geeignet allein als maßgebende Methode zu gelten, weil ihnen stets eine gewisse Unsicherheit anhaftet.

Wer einmal an sich selbst die Gesichtsfeldgrenzen für farbige Objekte hat bestimmen lassen, weiß, wie schwer es ist, mit Sicherheit den Augenblick anzugeben, in welchem ein farbiger Lichtreiz seine „spezifische Schwelle“ überschreitet, wann z. B. ein rotes Objekt wirklich in seinem Rot erscheint und nicht mehr orange oder gelb oder ungesättigt; denn der Übergang ist natürlich kein plötzlicher, sondern ein ganz allmählicher. So ergeht es auch den Patienten. Für die Beurteilung der Farbe ist Autosuggestion kaum auszuschalten, da jedes Vergleichsmoment fehlt.

Immerhin können sie als Kontrolluntersuchungen sehr gut Verwendung finden, zumal sie sich ohne große Unkosten beschaffen lassen. Am besten eignen sich hierzu die „Sättigungsabstufungen“ der Farben (z. B. Tafeln von Ole Bull und Kolbe), (s. u.).

Entsprechend der Abhängigkeit der farbigen Empfindung bei der erworbenen Rotgrünblindheit von bestimmten Untersuchungsbedingungen können die Schwellenwerte auf verschiedene Weise bestimmt werden, z. B. (Donders).

1. mittels des kleinsten Netzhautbildes
2. mittels der geringsten Lichtintensität
3. mittels der geringsten objektiven Sättigung

} des farbigen Lichtreizes

Bei allen drei Methoden kann man entweder von über- oder von unterschwelligen Werten ausgehen, d. h. entweder das Netzhautbild usw. allmählich verkleinern, bis die spezifische Farbenempfindung verschwindet, oder das Bild usw. vergrößern, bis zum ersten Male die Empfindung auftritt.

Quantitative Bestimmung mittels des kleinsten Netzhautbildes. Man bedient sich wohl meist farbiger Papier-, Tuch- oder Glasscheiben. Entweder wird die Größe dieser Objekte oder die Entfernung des Beobachters vom Objekt verändert. Auf beide Weisen läßt sich die Größe des Netzhautbildes beeinflussen. Das Farbenunterscheidungsvermögen ist dann umgekehrt proportional der Bildgröße. Donders hat dafür folgende Formel angegeben:

$$K = \frac{1}{m^2} \cdot \frac{d^2}{D^2}$$

Hierbei ist m die Seitenlänge des farbigen Quadrates in mm, D der Abstand, in welchem das normale Auge die Farbe bei einer Seitenlänge von 1 mm unterscheidet, d der Abstand, in welchem das zu prüfende Auge die Farbe erkennt.

Das zu untersuchende Auge und ein normales müssen unter den gleichen Bedingungen, besonders gleichzeitig und in möglichst gleichem Adaptationszustande geprüft werden, wenn die Ergebnisse verwertbar sein sollen.

Ein besonderer Nachteil dieser Methode beruht darauf, daß bei großen Schwellen verschieden große Netzhautbezirke geprüft werden. Bei kleinen zentralen Skotomen kann z. B. der Fall eintreten, daß bei großem Gesichtswinkel das farbige Objekt auch auf benachbarten gesunden Bezirken der Netzhaut (bezw. des Sehorganes) abgebildet wird.

Die Messung mittels der geringsten Lichtintensität erfolgt in der Weise, daß man die Intensität des Objektes solange verändert, bis die Farbe erkannt wird. Dabei bleibt jedoch der Dunkeladaptationszustand des Sehorganes nicht der gleiche. Bestehen gleichzeitig Adaptionsstörungen (etwa Hemeralopie), so wird das Ergebnis dadurch beeinflußt und die gefundenen Zahlen können nicht mehr mit denen anderer Beobachter verglichen werden. Man bedient sich entweder des Farbenkreisels, indem man einen farbigen Sektor verschiedener Größe vor lichtlosem Grunde rotieren läßt oder des Landoltschen Chromatometers[1]).

Auch an geeigneten Spektralapparaten, bei welchen sich die Intensität der spektralen Lichter regulieren und zahlenmäßig ablesen läßt, kann man die Helligkeit bestimmen, welche den verschiedenen spektralen Lichtern gegeben werden müssen, damit sie in der entsprechenden Farbe gesehen werden. Derartige Schwellenbestimmungen sind bei der progressiven Rotgrünblindheit von Rählmann (..) ausgeführt worden.

---

[1]) cf. Graefe-Saemisch, Handb. d. ges. Augenheilk. 2. Aufl. Bd. IV. S. 429.

Die Messung mittels der geringsten objektiven Sättigung ist insofern die beste, als sie bei gleichbleibendem Gesichtswinkel und Adaptationszustande sich anwenden läßt. Man setzt den Farben eine meßbare Menge farblosen Lichtes zu, bis sie nicht mehr erkannt werden, oder umgekehrt, der Zusatz farblosen Lichtes wird verringert, bis die Farbe gesehen wird.

Man kann den Farbenkreisel (S. 378) zur Prüfung benutzen, indem man einer weißen Scheibe einen farbigen Sektor verschiedener Größe so lange zusetzt, bis die spezifische Farbenempfindung auftritt. Besser wird allerdings eine graue Scheibe statt der weißen verwendet, welche die gleiche Helligkeit hat wie die Farbe, damit durch den Helligkeitsunterschied zwischen farbigem Sektor und Untergrund keine zu großen Fehlerquellen entstehen.

Die Größe des farbigen Feldes wird durch eine zweite vor die rotierende gesetzte Scheibe mit einem entsprechend großen Loch bestimmt (s. auch S. 379).

Für die Praxis eignet sich ganz gut die Farbentafel von Bull[1]). Auf schwarzem Untergrunde befinden sich 1 cm große rote, gelbe, grüne und blaue Quadrate in verschiedenen Sättigungsabstufungen. Dadurch ergeben sich 10 Reihen von Quadraten. Liegt progressive Rotgrünblindheit vor, so werden die roten und grünen Quadrate nicht mehr farbig unterschieden und zwar in umso stärkerer Sättigung, je hochgradiger die Farbensinnstörung ist. Für Blau und Gelb fehlt die Unterscheidungsfähigkeit natürlich dann nur bei den geringeren Sättigungsabstufungen.

In ähnlicher Weise hat auch Kolbe[2]) Tafeln angegeben, bei denen die Sättigungsabstufungen aber kontinuierlich in Streifenform hergestellt sind. Durch ein darübergelegtes Diaphragma wird die gewünschte Sättigung „ausgeschnitten".

Messung mittels Gleichungen zwischen zwei Farben.

Die quantitative Untersuchung mittels Gleichungen hat den Vorteil, daß der Patient keine Farben zu benennen braucht und daß er für die Beurteilung der Farbe ein Vergleichsobjekt zur Hand hat. Es läßt sich viel leichter beurteilen, ob zwei nebeneinander befindliche Felder gleich sind oder nicht, als wenn man angeben soll, wann eine Farbe ein bestimmtes Rot hat und wann noch nicht. Dadurch werden die Bestimmungen genauer, auch läßt sich bei gleichbleibendem Adaptationszustand und unter gleichem Gesichtswinkel untersuchen.

Für die Untersuchung kann natürlich ebenfalls der Farbenkreisel verwendet werden, indem man zwei verschiedene Farbenscheiben rotieren läßt und Helligkeitsdifferenzen durch schwarze bezw. weiße Sektoren ausgleicht. Für schnelle klinische Untersuchungen ist das natürlich zu umständlich.

---

[1]) Ole Bull, Chromatoptometrische Tabelle. Christiania 1882.

[2]) Kolbe, Farbensättigungstafeln zur graduellen Abschätzung der Farbenblindheit. Petersburg und Leipzig 1885.

In bescheidener Form läßt sich durch die Nagel-Köllnersche Gleichungslampe[3]) eine gewisse Messung ausführen. Man untersucht, zwischen welchen Farben bereits Gleichungen vom Patienten angenommen werden (vgl. S. 170). Stellt man sich dann selbst eine kleine Skala bezw. Tabelle her, so kann man etwa 4—5 Stufen der progressiven Farbenblindheit unterscheiden und hat so einen gewissen Anhaltspunkt. Für eine zahlenmäßige Bestimmung müßte die Methode erst ausgebaut werden.

Messung mit der Rayleighgleichung.

Mit Hülfe der Rayleighgleichung kann in ziemlich einfacher Weise eine zahlenmäßige Bestimmung des Grades der Rotgrünblindheit vorgenommen werden. In welcher Weise das geschehen muß, ist S. 159 ff. ausführlich auseinandergesetzt.

So einfach die Methode im ersten Augenblick erscheint, so ergeben sich auch hier bei einiger Erfahrung gewisse Schwierigkeiten, welche den gewonnenen Zahlen immer nur die Bedeutung eines ungefähren Anhaltes lassen.

Verlangt man aber nicht mehr, so zeigt sich der Vorteil der Methode, nämlich die Zuverlässigkeit und Konstanz der Beobachtungen. Sie wird am besten illustriert durch das regelmäßige Parallelgehen der so gemessenen Farbensinnstörung mit der Sehschärfe bei den meisten Sehnervenerkrankungen (S. 178).

Als ein Nachteil mag es erscheinen, daß nur ein kleines Intervall der progressiven Rotgrünblindheit mit der Rayleighgleichung gemessen werden kann; wenn man die Verhältnisse bei der tabischen Atrophie als Beispiel wählt, nur dann, wenn das Sehvermögen etwa $^1/_3$ beträgt bis hinab zu $^1/_6$ des normalen. Während im Beginn der Farbensinnstörung noch einige Zeit lang keine Abweichung festzustellen ist, vollzieht sich eben die Umwandlung ziemlich schnell; und ist erst das dichromatische Stadium erreicht, in welchem Gelb mit Rot und Grün gleich gesehen werden, kann ein weiteres Fortschreiten nicht mehr festgestellt werden.

Immerhin stellt das meßbare Intervall der Rotgrünblindheit klinisch gerade das wichtigste dar. Deswegen ist die Messung mit der Rayleighgleichung anzuraten, wo sie nur irgend angängig ist.

Für jeden Apparat müssen die Zahlen empirisch bestimmt werden. Sie gestatten nicht ein zahlenmäßiges Ausdrücken der Herabsetzung der Farbenempfindung in Brüchen mit Beziehung auf den normalen Farbensinn.

Einige Bemerkungen zu der Methode. Man überzeugt sich zunächst in der S. 72 angegebenenen Weise, ob nicht etwa angeborene Farbenblindheit bezw. -Schwäche vorliegt. Nunmehr bestimmt man, in welchem

---

[3]) Beschrieben S. 80.

Umfange das Rotgrüngemisch verändert werden kann, ohne daß eine Farbendifferenz der beiden Vergleichfelder für den Patienten auftritt. Dafür gelten noch folgende Regeln:

1. Die Helligkeitseinstellung des Natriumgelb, welche für den Normalen eingestellt worden war, bleibt unverändert.

2. Man geht zuerst von der Einstellung aus, bei welcher die Feldhälfte mit dem Rotgrüngemisch reines Spektralgrün enthält und mischt allmählich soviel Rot zu, bis beide Feldhälften gleich erscheinen. Sodann stellt man in der Feldhälfte mit dem Rotgrüngemisch reines Spektralrot ein und mischt solange Grün zu, bis wieder beide Felder gleich erscheinen. An der Schraube, welche die Rotgrünmischung reguliert, werden die beiden Einstellungen abgelesen. Sie geben die beiden Grenzen für die Einstellungsbreite an.

3. Man wählt eine konstante Feldgröße (am Anomaloskop) zweckmäßig das mittlere Diaphragma.

4. Man läßt mehrere Sekunden lang beobachten und die Einstellung nochmals nachkontrollieren.

5. Man untersucht im Zustande der Helladaptation, nicht im verdunkelten Raume.

Die Beziehungen der progressiven Rotgrünblindheit zu anderen Funktionsstörungen des Sehorgans.

Am häufigsten wird ja, wie wir wissen, die Rotgrünblindheit durch Herderkrankungen im Bereiche der Leitungsbahnen hervorgerufen, durch welche die Netzhauterregungen der Hirnrinde übermittelt werden. Diesen Bahnen fällt in gleicher Weise auch die Aufgabe zu, die Erregungsvorgänge für den Lichtsinn (Schwarz-Weiß-Empfindung) einschließlich dem Dämmerungssehen und für den Raumsinn zu leiten, und man wird sich gern vorstellen, daß alles durch dieselbe Nervenfaser geleitet wird, ohne sich vernünftiger Weise über die näheren Vorgänge der Leitung im Nerven vorläufig Kopfzerbrechen zu machen.

Man wird dann also erwarten, daß bei Störungen in einem derartigen Nerven-Leitungsbetriebe nicht nur gerade die Auslösung der Farbenempfindung leidet, sondern daß auch die anderen Funktionen des Sehorganes mehr oder weniger gestört werden.

In der Tat bildet die progressive Rotgrünblindheit im allgemeinen nur eine Teilerscheinung einer allgemeinen Herabsetzung der Funktionen eines Sehorganes (vergl. auch Schön 54a).

Sehr häufig sinken gleichzeitig und annähernd in gleichem Tempo mit dem Farbensinn auch Raumsinn und Lichtsinn.

Anderseits findet sich in gewissen Fällen ein deutlich ausgesprochenes Mißverhältnis zwischen dem Grade der Raumsinn-, Lichtsinn- und Farbensinnstörung; es läßt sich z. T. auf bestimmte Ursachen zurückführen.

Rotgrünblindheit und Sehschärfe.

Zum mindesten für den Kliniker haben die Beziehungen zwischen der Sehschärfe und der progressiven Farbensinnstörung solange hohes Interesse, als die Prüfung der Sehschärfe noch als das reguläre Maß für den Grad der Funktionsstörung eines Sehorganes betrachtet wird. Ergibt sich doch die Aussicht, aus dem Mißverhältnis bezw. dem Parallelgehen zwischen beiden Funktionen eventuell diagnostische Schlüsse zu ziehen.

Die Hauptfrage lautet natürlich dahin: gibt es überhaupt pathologische Verhältnisse, unter welchen Farbensinn und Sehschärfe regelmäßig als parallele Funktionen in gleichem Maße mit zunehmender Erkrankung sinken? Ist das der Fall, so müssen sich irgendwie feste Beziehungen zwischen beiden Funktionen aufstellen lassen derart, daß aus dem Grade der Farbensinnstörung auf den Grad der Sehschärfe geschlossen werden kann; ebenso umgekehrt.

Die Frage kann nach den bisherigen Erfahrungen bejaht werden.

Die Schwierigkeiten, welche sich für die Beurteilung ergeben, sind nicht zu unterschätzen. Zweckmäßig ist es, vorläufig nur das direkte bezw. foveale Sehen zu berücksichtigen, nicht das periphere (wie z. B. Rönne will), denn wir besitzen weder eine exakte Methode für periphere Sehschärfeprüfung, noch für quantitative Farbensinnprüfung. Schon beim Normalen gestalten sich die Verhältnisse für die Untersuchung hier schwierig (s. peripherer Farbensinn S. 23). Aber auch im fovealen Sehen ist es nicht gleichgültig, welche Methode gewählt wird; denn bei der Sehschärfeprüfung spielt gerade bei Störungen im Bereiche der Leitungsbahnen schon die Zeit der Beobachtung der Objekte eine vielleicht nicht unbedeutende Rolle[1]), man kann bekanntlich z. B. bei Sehnervenatrophien noch erheblich mehr Sehschärfe „herausdrücken", wenn man dem Patienten Zeit genug läßt. Daß eine brauchbare quantitative Prüfung der progressiven Rotgrünblindheit zu finden schwierig ist, ist S. 172 näher ausgeführt. Deswegen wird allen derartigen Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Sehschärfe und dem Grade der Farbensinnstörung etwas willkürliches anhaften, jedenfalls gelten sie stets nur für die gewählte Versuchsanordnung.

Nicht weniger wichtig ist die Auswahl des Materials. Es ist durchaus notwendig für die Untersuchung Fälle auszuwählen, die pathologisch-anatomisch möglichst einfache Verhältnisse darbieten und die sich klinisch mit einiger Sicherheit auf einen bestimmten Abschnitt der Sehbahn lokalisieren lassen, z. B. die tabische Sehnervenatrophie, einige Intoxikationen des Sehnerven. So ist es auch möglich ein umfangreiches einheitliches Material zu schaffen; denn oftmals muß bei pathologischer Farbensinnprüfung die Zahl der Fälle die Präzisionsbestimmung ersetzen, die sich nicht immer ausführen lassen.

Prüft man bei tabischen Sehnervenatrophien die Farbenempfindung mit Gleichungen zwischen zwei farbigen Feldern, nicht durch einfaches Benennenlassen bunter Objekte, so zeigt sich

---

[1]) Es würde sich übrigens verlohnen genauere Untersuchungen darüber anzustellen, inwieweit eine „verlangsamte Leitung" besteht.

durchweg, daß gleichzeitig mit abnehmender Sehschärfe auch die Rotgrünblindheit mehr und mehr zunimmt. Man kann direkt eine Skala aufstellen, was natürlich für jede Art der Untersuchung besonders empirisch geschehen müßte.

Ich will praktische Beispiele wählen, die leicht nachzuprüfen sind. Bestimmt man die Sehschärfe mit den Snellenschen Probebuchstaben, die Farbenempfindung mit der Rayleighgleichung am Anomaloskop, so besteht in der Regel bei einer Sehschärfe von

S = 1—$^1/_3$ noch keine Abweichung von der Einstellung der Rayleighgleichung.

$^1/_3$—$^1/_4$ die Einstellung des Rotgrüngemisches nimmt allmählich an Breite zu.

$^1/_4$—$^1/_6$ Es wird bereits Thalliumgrün und Natriumgelb gleich gesehen, dagegen Gelb und Lithiumrot meist unterschieden.

$^1/_6$—$^1/_{10}$ Es läßt sich auch zwischen reinem Gelb und Rot vollkommene Gleichung erzielen.

Das heißt also, die Zunahme der Rotgrünblindheit, welche bei der Rayleighgleichung nachweisbar ist, spielt sich ab bei einem Sehvermögen von $^1/_3$—$^1/_6$. Über $^1/_3$ ist mit dem Anomaloskop noch keine Farbensinnstörung mit Sicherheit nachzuweisen. Natürlich kann das aber auf andere Weise geschehen, und die ersten Zeichen der Farbensinnstörung lassen sich zuweilen durch Perimetriren mit kleinen Objekten bereits nachweisen, wenn die Sehschärfe noch nahezu normal ist.

Von S = $^1/_6$ an abwärts besteht bereits dichromatisches Sehen (für Objekte von der Beschaffenheit wie am Anomaloskop). Das Stadium der totalen Farbenblindheit wird erst erreicht, wenn die Sehschärfe beträchtlich gesunken ist, etwa auf $^1/_{40}$—$^1/_{60}$. Wählt man natürlich kleine und ungesättigte Farben, so macht sich die totale Farbenblindheit entsprechend eher geltend.

Man kann demnach bei bestimmten Erkrankungen, wie die Tabes in der Tat aus dem Grade der Farbensinnstörung einen Rückschluß auf die Sehschärfe machen und umgekehrt — bis zu einem gewissen Grade natürlich, d. h. nicht mit absoluter Genauigkeit. Die Folge davon ist allerdings die Annahme, daß entweder alle Patienten eine gleiche „Normalsehschärfe" in gesunden Tagen besessen haben — was wohl auf Bedenken stößt — oder aber daß auch normaler Weise diejenigen, welche sich einer höheren Sehschärfe erfreuen, auch eine entsprechend feinere Farbenempfindung besitzen. Inwieweit das zutrifft, hat sich bisher noch nicht nachweisen lassen.

Ebenso lassen sich umgekehrt häufig gröbere Mißverhältnisse zwischen dem Grade der Farbensinnstörung und der Sehschärfe nachweisen, wenn man die eben genannten Beziehungen zum Ausgangspunkt wählt. Zuweilen ist die Sehschärfe hochgradig herabgesetzt, trotzdem die Farbenempfindung noch wenig gelitten hat, nicht selten umgekehrt besteht trotz relativ guter Sehschärfe ein auffallend hoher Grad von progressiver Rotgrünblindheit.

Zuweilen läßt sich die Ursache dieses Mißverhältnisses feststellen oder mutmaßen:

a) In einigen Fällen, wo eine Beteiligung der Netzhaut in Frage kommt, z. B. Formen von Neuritis nervi optici), ist die Sehschärfe zuweilen auffallend gering[1]).

b) Besteht eine vollkommene Trennung von Farbensinn und Sehschärfe, derart, daß diese ganz normal ist, während ersterer hochgradig beeinträchtigt ist, so handelt es sich stets um ganz bestimmte Herderkrankungen ausschließlich im Bereich der Hinterhauptsrinde. Nur in diesem Falle kann es vorkommen, daß bei normaler Sehschärfe ein beträchtlicher Grad der progressiven Rotgrünblindheit besteht. In allen anderen Fällen, bei denen ein Mißverhältnis zwischen beiden Funktionsstörungen besteht, bewegt es sich innerhalb gewisser Grenzen und stets sind dann beide, Sehschärfe und Farbensinn, deutlich herabgesetzt, wenn auch in verschiedenem Grade.

c) Interessant ist die Beobachtung, daß bei Erkrankungen des Sehnerven, welche günstig verlaufen (z. B. Intoxikationen, luetischen Erkrankungen), zwar Sehschärfe und Farbensinn in gleichem Grade sinken, daß aber bei Wiederherstellung der Funktionen die Sehschärfe dem Farbensinn zuweilen vorauszueilen scheint. Ich habe einige Mal derartige Fälle gesehen, auch in der Literatur sind einige Aufzeichnungen darüber vorhanden Uhthoff, Lewin-Guillery) (z. B. S. 320 und 327).

In vielen, vielleicht den meisten Fällen ist die Ursache für das Mißverhältnis zwischen Farbensinn und Sehschärfe noch unaufgeklärt. Überhaupt bietet sich hier noch ein Feld für viele Untersuchungen.

---

[1]) Man wird dabei an die Rählmannsche Farbensinntheorie erinnert, welche den Erregungsvorgang innerhalb der Netzhaut mit Hülfe „stehender Wellen" erklärt (S. 411). Die schlechte Sehschärfe derartiger Fälle könnte dann dadurch zu stande kommen, daß die gleichmäßige Reihe der Stäbchen und Zapfen gestört ist, ähnlich wie die Buchstaben einer Zeile bei der Metamorphopsie. Infolge der unregelmäßigen Wellenreflexion, die so entstehen muß, leidet die Sehschärfe.

Rotgrünblindheit und Lichtsinn.

Die Störungen des Lichtsinns in engerem Sinne, welcher das Sehen der sog. tonfreien Farben (Schwarz-Weiß-Reihe) umfaßt, lassen sich wiederum von denen des Farbensinnes nicht völlig abtrennen, da das Farbensehen stets mehr oder weniger dadurch beeinflußt wird.

Eine Störung des Lichtsinnes begleitet, ebenso wie die Herabsetzung der Sehschärfe — wahrscheinlich stets die progressive Rotgrünblindheit, wenigstens bei Störungen der Leitungsbahnen. Sie ist dabei anscheinend in ähnlichem Maße progressiv. Eine Ausnahme scheinen hiervon nur gewisse Herderkrankungen der Hirnrinde zu machen, welche zwar die Farbensinnstörung bedingen, aber den Lichtsinn ebenso wie die Sehschärfe intakt lassen.

Jeder Kliniker kennt ja bei gewissen Erkrankungen des Sehnerven das zentrale relative Skotom für Weiß, das meist gleichzeitig mit der progressiven Rotgrünblindheit nachweisbar ist und die Herabsetzung der Funktionen in diesem Teil des Gesichtsfeldes andeutet. Dieses relative Skotom für Weiß ist der Ausdruck der vorhandenen Lichtsinnstörung, durch welche die Kontrast-Empfindung Schwarz-Weiß herabgesetzt wird; dadurch erscheint das weiße Objekt dann grauer. Ebenso umgekehrt erscheinen im Bereiche des Skotoms schwarze Objekte, z. B. Buchstaben, grauer, also weniger kontrastreich.

Bei der Aichung der progressiven Rotgrünblindheit wurde ebenfalls auf die Störung des Lichtsinnes hingewiesen (S. 154). Sie macht sich dort insofern störend bemerkbar, als die Unterscheidung der Helligkeiten der beiden Vergleichsfelder wesentlich herabgesetzt war. Infolgedessen konnten für die Aichwerte nur Grenzwerte, keine Mittelzahlen angegeben werden.

Die Lichtsinnstörung empfindet der Patient auch subjektiv sehr unangenehm; er sieht alles wie durch einen weißen Schleier, umso stärker, je heller die Beleuchtung ist.

Im Zusammenhang damit steht wahrscheinlich auch die häufige Klage der Patienten, daß sie bei herabgesetzter Beleuchtung besser zu sehen pflegen, wie im Hellen. Man hat diese Erscheinung als Nyktalopie bezeichnet, im Gegensatz zu der Hemeralopie.

Inwieweit Unterschiede zwischen dem Grade der Lichtsinn- und Farbensinnstörung vorkommen, läßt sich zur Zeit noch nicht entscheiden, da genaue quantitative Untersuchungen noch fehlen.

Die Beziehungen zur Dunkeladaptation.

Unter dem Einflusse der Dämmerung erfährt der Licht- und Farbensinn bekanntlich eine ganz beträchtliche Veränderung, es tritt die bekannte Steigerung der Empfindlichkeit auf.

Während nun die erworbene Gelbblaublindheit so gut wie stets von einer hochgradigen Störung der Anpassungsfähigkeit an die Dämmerung (Hemeralopie) begleitet ist, ist diese Adaptationsstörung bei der progressiven Rotgrünblindheit wenn sie vorhanden ist, nur gering ausgeprägt, so daß sie subjektiv kaum in Erscheinung tritt. Immerhin läßt sie sich wenigstens in vielen Fällen nachweisen, besonders, wenn man bei einseitigen Erkrankungen auf die Differenz achtet, welche sich bei der Untersuchung beider Augen ergibt (Behr 79).

Ob die eine Störung der Adaptation stets und in bestimmtem Grade die progressive Rotgrünblindheit begleitet, läßt sich zur Zeit noch nicht entscheiden[1]).

Von anderer Seite wurde die Ansicht vertreten, daß Adaptationsstörungen fehlen, wenn die Läsion der Sehbahnen zentralwärts von den primären optischen Zentren, also etwa in der Sehstrahlung sitzt, dagegen vorhanden sind bei peripheren Läsionen (Wilbrand und Saenger[2]), Behr 79). Bei letzteren wieder soll die Art des pathologischen Prozesses von Einfluß sein (Behr).

Wenn sich diese Vermutungen bestätigen, so würden sich bestimmte Beziehungen der Adaptation zur progressiven Rotgrünblindheit ergeben, da sich diese bekanntlich an die genannten Faktoren nicht kehrt.

Die Frage läßt sich nur entscheiden, wenn die Farbenempfindung bestimmter peripherer Teile der Netzhaut quantitativ geprüft und für dieselben Stellen die Dunkeladaptation bestimmt wird. Besonders das erstere stößt aber noch auf erhebliche Schwierigkeiten.

Beziehungen zur angeborenen Rotgrünblindheit.

a. Das dichromatische Stadium der erworbenen Rotgrünblindheit scheint bei flüchtiger Betrachtung mit der angeborenen identisch zu sein, wenigstens mit der Deuteranopie. Denn bei beiden werden nur noch zwei Farben — ein bestimmtes Gelb und Blau — gesehen, die im Spektrum in einer an derselben Stelle gelegenen „neutralen" Zone ineinander übergehen und bei beiden besteht keine Verkürzung des Spektrums.

Bei genauerer Untersuchung dagegen ergaben sich einige bemerkenswerte Abweichungen, durch welche sich die erworbene Rotgrünblindheit durchweg von der Protanopie und Deuteranopie unterscheidet, nämlich

---

[1]) Eine andere Frage ist es, ob nicht in seltenen Fällen auch angeborene Rotgrünblindheit vorkommen kann, welche mit der erworbenen Ähnlichkeit hat und die sich dann ebenfalls von der Protanopie und Deuteranopie unterscheiden würde (vergl. auch S. 51).

[2]) Neurologie des Auges, Bd. III, S. 318 ff. und 299.

1. Der ausgesprochen quantitative Charakter der erworbenen Rotgrünblindheit mit ihrer merklichen Abhängigkeit von den Untersuchungsbedingungen (Objektgröße, Sättigung, Intensität usw.) wird bei der angeborenen Farbenblindheit vermißt.

2. die geringere Sättigung, in welcher durchweg Gelb und Blau bei der erworbenen Rotgrünblindheit gesehen werden. Beide erscheinen auch zu einer Zeit, wo die Farbenblindheit noch nicht sehr fortgeschritten ist, erheblich weißlicher wie bei der angeborenen Rotgrünblindheit.

3. Die Helligkeitsverteilung über das Spektrum stimmt garnicht mit der Protanopie, wahrscheinlich aber auch nicht vollkommen mit der Deuteranopie überein, obwohl sie mit letzterer noch eine gewisse Ähnlichkeit hat, wie sich bei der Aichung (S. 155) und auch bei Untersuchungen mit der Rot-Gelbgleichung ergibt (S. 165).

4. Das Auftreten im Gesichtsfeld. Fast stets ist die erworbene Rotgrünblindheit nur in einem Teil des Gesichtsfeldes zu finden, zum wenigsten befinden sich nebeneinander verschiedene Grade der Farbensinnstörung, meist ziemlich scharf voneinander getrennt. Derartige lokale Verschiedenheiten lassen sich bei angeborener Farbenblindheit nicht nachweisen.

Es fragt sich nun, wie kann man auf einfachste Weise die angeborene und erworbene Rotgrünblindheit k l i n i s c h unterscheiden?

Meist wird man wieder mehrere Methoden anwenden müssen. Es empfiehlt sich

1. Untersuchung am Perimeter. Der Nachweis umschriebener Farbensinnstörung (z. B. Farbenskotome) im Gesichtsfeld findet sich nur bei erworbener Farbenblindheit.

2. Untersuchung am Farbengleichungsapparat[1]) mit Gleichungen zwischen bunten Farben mit Weiß.

Vor allem kommen Gleichungen zwischen (Gelblich-) Grün und Weiß sowie Gelb und Weiß in Betracht. Dem angeboren Rotgrünblinden erscheint Gelb und Grün gegenüber dem Weiß „farbig" (gelblich), dem erworben Rotgrünblinden in so geringer Sättigung, daß beide leicht eine Gleichung ergeben (vergl. Tabelle S. 184, näheres unter Methodik Abschn. III).

3. Wenn möglich noch Untersuchung mit Gleichung zwischen Lithiumrot und Natriumgelb, z. B. am Anomaloskop (Unterschied s. S. 165).

[1]) Beschrieben S. 80.

1. Untersuchung mit dem Nagelschen Farbengleichungsapparat zur Unterscheidung angeborener und erworbener Rotgrünblindheit

Einstellung	Angaben bei der Protanopie	Angaben bei der Deuteranopie	Angaben bei der erworbenen „Rotgrünblindheit“
Hellrot-Dunkelrot	Es werden oft verschiedene Farben genannt, wie Rot und Grün, Grün und Gelb u. s. w.	wie bei Protanopie	Etwa d' gelb-hell, es werden in der Regel nicht verschiedene Farben geraten (der Patient besitzt die Erinnerungsbilder an einen normalen Farbensinn.)
An beiden Seiten gleichhelles Rot	Beide Felder gleich	Beide Felder gleich	Beide Felder gleich
Rot-Gelb	Beide Felder nur gleich, wenn der Helligkeitsschieber des Gelb etwa auf Marke I[1]). Genaue Einstellung	Beide Felder nur gleich, wenn der Helligkeitsschieber des Gelb etwa auf Marke II[1]). Genaue Einstellung	Beide Felder erschienen gleich, wenn der Schieber des Gelb auf Marke II bis etwa zur Mitte zwischen I u. II, oft auch über Marke II hinausgeht; wechselnd! Dabei ist zu beachten, ob nicht etwa kleine zentrale od. parazentrale Skotome bestehen, derart, daß nur das eine Vergleichsfeld in in den Bereich des Skotoms fällt. (Umkehren der Einstellung, erst rot-gelb, dann gelb-rot!)
Grün-Gelb	Beide Felder gleich wenn Helligkeit passend reguliert	Wie bei Protanopie	Wie bei Protanopie
Gelbgrün-Weiß	In der Regel erscheinen beide Felder nicht gleich, das Grün bleibt „farbig“	Wie bei Protanopie	Beide Felder gleich bei passender Regulierung der Helligkeit
Gelb-Weiß	dto.	dto.	Beide Felder gleich bei passender Regulierung der Helligkeit; im Anfang zuweilen ist das Gelb noch „gelblich“ gegenüber dem Weiß

[1]) Die Marken fehlen am neueren Modell.

Einstellung	Angaben bei der Protanopie	Angaben bei der Deuteranopie	Angaben bei der erworbenen „Rotgrünblindheit“
Rot-Weiß	Beide Felder nicht gleich	Wie bei Protanopie	Erst in fortgeschrittenen Fällen beide Felder gleich; gewöhnlich wie bei Protanopie
Rot-Gelbgrün	Beide Felder gleich bei passender Regulierung der Helligkeit	Wie bei Protanopie	Oft beide Felder nicht gleich das Rot ist „gelblicher“, da das Grün bereits zu ungesättigt erscheint
Rot-Blau	Felder stets deutlich verschieden	Wie bei Protanopie	Wie bei Protanopie, eine Gleichung wird erst im Stadium der tota'en Farbenblindheit erhalten.

Trotzdem ist die Entscheidung, ob angeborene oder erworbene Farbensinnstörung vorliegt, manchmal auch für den Geübten nicht leicht, besonders dann, wenn im ganzen Gesichtsfeld die Farbensinnstörung vorhanden ist, also die unter 1 genannte Gesichtsfeldprüfung im Stich läßt.

b) Die Anfänge der progressiven Rotgrünblindheit müßten folgerichtig den Übergangsformen zur angeborenen Rotgrünblindheit ähneln, d. h. den „Farbenschwachen“, genauer der Gruppe der deuteranomalen Trichromaten. Diese Ähnlichkeit besteht auch in der Tat.

Soweit sich bisher die Sache übersehen läßt, können wahrscheinlich auch die Übergangsformen, ebenso wie die ausgebildete angeborene und erworbene Rotgrünblindheit meist von einander unterschieden werden.

Am meisten interessiert das Verhalten gegenüber der Rayleighgleichung. Die mittelschweren Fälle angeborener anomaler Trichromaten lehnen bekanntlich die Normalen-Gleichung ab, während sie bei der progressiven Rotgrünblindheit angenommen wird. Aber die Fälle von extremer angeborener Anomalie, die also den Farbenblinden nahestehen, nahmen die Normalen-Gleichung auch an, sodaß sich in der Tat hier gegenüber den erworben Rotgrünblinden kaum ein Unterschied ergibt.

Man kann sich dann aber auf andere Weise helfen, nämlich am Farbengleichungsapparat mit Gleichungen zwischen Gelblichgrün und Gelb einerseits und Weiß andererseits. Bei der progressiven Rotgrünblindheit wird auch hier eine Gleichung sehr leicht angenommen, dem anomalen Trichromaten aber erscheinen] unter

gleichen Beobachtungsbedingungen Gelb und Gelbgrün wieder „farbig" (gelblich) gegenüber dem Weiß (vergl. auch N a g e l 67).

Bei der Differentialdiagnose zwischen angeborener und erworbener „Farbenschwäche" (wenn der Kürze wegen das Wort erlaubt ist), geht man daher am besten in der gleichen eben genannten Weise vor, wie bei dem späteren Stadium der Rotgrünblindheit, nur daß an Stelle der Rotgelbgleichung die Rayleighgleichung treten muß, d. h. also an Stelle des Lithiumrot das Rotgrüngemisch.

Zusammentreffen von angeborener und erworbener Rotgrünblindheit.

Daß auch Farbenblinde eine Sehnervenatrophie oder ein ähnliches Leiden bekommen können, welches zu einer progressiven Rotgrünblindheit führt, ist bei der Häufigkeit angeborener Farbenblindheit leicht verständlich.

Wahrscheinlich ist die einzige Veränderung der Farbenempfindung, welche dann auftritt, das allmähliche Abnehmen der Sättigung der beiden Farben Blau und Gelb.

Ein zentrales Farbenskotom zeigt sich in solchem Falle dann dadurch an, daß in seinem Bereich einfach alle Perimeterobjekte weißlicher werden, ihren Farbenton (Blau und Gelb) aber beibehalten (U h t h o f f).

Ebenso wie der Farbenton bleibt vermutlich auch die Helligkeitsverteilung im Spektrum unverändert, z. B. der Protanop behält die seine mit der charakteristischen Unterempfindlichkeit für langwellige (rote) Lichter.

Der spektralanalytische Beweis konnte bisher allerdings noch nicht geführt werden, weil ja natürlich kaum ein protanopisches Farbensystem vor einer Sehnervenerkrankung geaicht werden wird, sondern meist erst in deren Verlauf.

Wahrscheinlich gehören aber 2 beobachtete Fälle von tabischer Sehnervenatrophie (K ö l l n e r 77) hierher, bei denen das Untersuchungs- (Aichungs-) Ergebnis eine vollkommene Übereinstimmung mit der Protanopie ergab, während doch gerade sonst hier der Unterschied ziemlich deutlich ist (die Aichwertkurven des einen dieser Fälle sind auf Fig. 24 wiedergegeben. Die Aichwertzahlen siehe K ö l l n e r 77).

Die Beziehungen zum normalen Farbensinn

sind dafür bei der progressiven Rotgrünblindheit umso engere. Jedem muß sofort die große Ähnlichkeit mit der allmählichen Abnahme der Farbenempfindung nach der Peripherie des Gesichts-

feldes hin auffallen, die ebenfalls über das Stadium der Rotgrünblindheit verläuft. In der Literatur ist auch bereits frühzeitig und von mehreren Autoren auf diese Übereinstimmung hingewiesen worden (H e r i n g, H e s s u. a.).

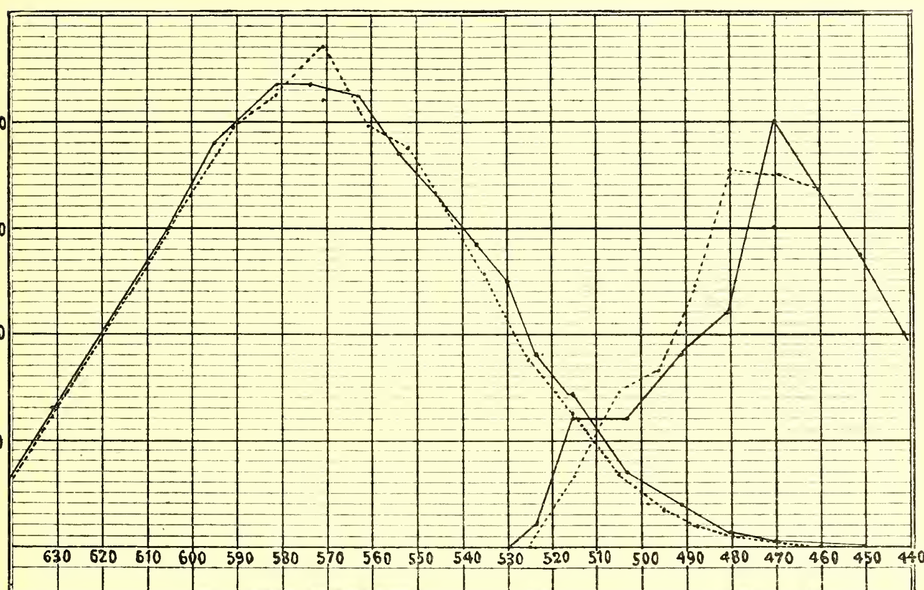


Fig. 24.
Die beiden Aichwert-Kurven eines Protanopen nach v. Kries.
Kurven einer Rotgrünblindheit bei Sehnervenatrophie mit abweichendem Verlauf (wahrscheinlich lag gleichzeitig Protanopie vor).
(Der Massstab ist so gewählt, dass die Gipfel etwa auf gleicher Höhe liegen.)

Diese Übereinstimmung erstreckt sich darauf, daß auch bei der erworbenen Rotgrünblindheit die Gleichungen, welche für die normale foveale Farbenempfindung gelten, weiterhin Gültigkeit haben, d. h. soweit man nach den bisherigen Untersuchungen urteilen kann. Es sei nur wieder an die Rayleighgleichung des Normalen erinnert, die während des Verlaufes der Rotgrünblindheit dauernd anerkannt wird.

Auch die Helligkeitsverteilung über das Spektrum scheint sich während des Verlaufes der Farbensinnstörung nicht zu verändern, ebenso wenig wie das im peripheren Sehen geschieht, wo die „Peripheriewerte“ mit der Helligkeitsverteilung im fovealen Sehen übereinstimmten (vergl. S. 25).

Bei der A i c h u n g der erworbenen Rotgrünblindheit (S. 153) hat sich ergeben, daß die beiden Aichwertkurven, von denen nur die langwellige wegen ihrer Lage für die Beurteilung in Betracht kommt, denen der Deuteranopie sehr ähneln, nur nach dem Blau hin vielleicht etwas höhere Werte aufweisen. Das gleiche Ergebnis erhielt auch v. K r i e s[1]) für das periphere Sehen.

[1]) N a g e l, Handbuch der Physiologie des Menschen 1905, III. Bd. S. 201.

Auch die S. 186 erwähnten Fälle, bei denen möglicher Weise ein Zusammentreffen von Protanopie und erworbener Rotgrünblindheit vorlag, würden einen weiteren indirekten Beweis für die Übereinstimmung der Rotgrünblindheit mit der peripheren Farbenblindheit bilden. Denn beim Protanopen bleibt die Helligkeitsverteilung über das Spektrum in seiner charakteristischen Weise ebenfalls in der Peripherie erhalten (v. Kries, ebd.).

Die schnelle Abnahme der Sättigung der gesehenen Farben, die Abhängigkeit der Farbenempfindung von den Beobachtungsbedingungen, das gleichzeitige parallele Sinken von Lichtsinn und Sehschärfe bei vielen Erkrankungen der Leitungsbahnen sind alles Erscheinungen, die sich in gleicher oder doch sehr ähnlicher Weise im peripheren Sehen des Normalen wiederfinden.

In der Tat kennt man zur Zeit keine Beobachtung bei der erworbenen Rotgrünblindheit, die gegen eine Übereinstimmung mit dem Sehen in der Gesichtsfeldperipherie sprechen würde, und auch die neueren Untersuchungen bilden vorläufig durchweg eine Bestätigung dafür.

Verhalten der Rotgrünblindheit im Gesichtsfeld.

Ganz entsprechend der Häufigkeit, mit welchen Erkrankungen der Sehbahn von bestimmten und charakteristischen Gesichtsfeldstörungen begleitet sind, tritt auch die progressive Rotgrünblindheit als Vorstufe zum völligen Funktionsausfall fast immer nur in einem Teil des Gesichtsfeldes auf. Dieses Verhalten wurde bereits zur Unterscheidung von der angeborenen Rotgrünblindheit empfohlen.

Von einem der Farbensinnstörung irgendwie eigentümlichen Auftreten im Gesichtsfeld, wie etwa bei der Gelbblaublindheit, kann man jedoch niemals sprechen; denn die Form der Gesichtsfeldstörung richtet sich nur nach der Art des zu Grunde liegenden Krankheitsprozesses, vor allem nach dessen Lokalisation innerhalb der Sehbahn.

Auch in den Fällen, bei denen scheinbar die Farbensinnstörung im ganzen Gesichtsfeld aufgetreten ist, lassen sich Unterschiede in ihrem Grade nachweisen, etwa inmitten eines rotgrünblinden Gesichtsfeldes ein zentrales Skotom, in welchem bereits das Stadium der totalen Farbenblindheit erreicht ist. (Näheres hierüber s. unter Leitungsbahnen S. 280).

Nur bei bestimmten Erkrankungen der Hirnrinde sowie bei funktionellen Störungen kann sich auch die erworbene Rotgrünblindheit über das ganze Gesichtsfeld gleichmäßig ausdehnen.

Da die progressive Rotgrünblindheit mit dem peripheren Sehen des Normalen so gut wie völlig übereinstimmt, muß sie überall im

Gesichtsfeld lediglich als eine Vermehrung des Grades der normalen peripheren Herabsetzung des Farbensinnes in Erscheinung treten.

Bestimmt man also am Perimeter die peripheren Grenzen für farbige Objekte, so wird sich eine progressive Rotgrünblindheit dadurch bemerkbar machen, daß die Grenzen enger werden, also nach dem Fixierpunkt hin rücken, umso mehr, je höher der Grad der Farbensinnstörung ist. Die Reihenfolge der Grenzen für die verschiedenen Farben ändert sich dabei nicht, sondern stimmt mit der normalen vollkommen überein (sie hängt natürlich wesentlich von der Art der farbigen Objekte ab, gewöhnlich ist bekanntlich die Grenze für blaue Objekte am weitesten, für grüne am engsten, (siehe auch Abschnitt Methodik S. 392 ff.).

Prognose. Verlauf der Rotgrünblindheit.

Die erworbene Rotgrünblindheit ist als solche durchaus kein prognostisch ungünstiges Zeichen einer Erkrankung des Sehorganes, auch nicht wenn sie bis zu ihrem Endstadium, dem völligen Verlust des Farbensinnes, sich entwickelt hat.

Es ist zweifellos von verschiedenen Seiten festgestellt, daß der Farbensinn in jedem Stadium wieder vollkommen normal werden kann; inwieweit diese Wiederherstellung möglich ist, hängt von der zu Grunde liegenden Erkrankung ab.

Soweit die bisherigen Beobachtungen ein Urteil zulassen, erfolgt die Rückbildung in der Regel in umgekehrter Reihenfolge, wie die Rotgrünblindheit entstand. (Siehe auch S. 192.) Bei Untersuchung mit der Rayleighgleichung kann man beobachten, wie das Sehorgan allmählich immer empfindlicher für die Zumischung von Rot und Grün zur Einstellung des Normalen, wie also die Einstellung des Rotgrüngemisches immer „schärfer" wird. Auch die Beobachtungsdauer, innerhalb deren die Unterscheidung der Feldhälften erfolgt, wird allmählich wieder kürzer, wie zur Zeit der Funktionsstörung.

Eine Wiederherstellung des normalen Farbensinnes nach erworbener Rotgrünblindheit wurde beschrieben: bei Sehnervenerkrankung infolge Alkoholintoxikation (Uhthoff; s. a. S. 321), bei rezidivierender Neuritis (Moll), bei Hysterie (Hilbert), bei Hypnose (Heidenhein und Cohn, s. S. 311).

Auch ein Teil der Fälle gehören hierher, bei welchen eine erworbene totale Farbenblindheit wieder normalem Farbensinn Platz macht, da die Wiederherstellung über das Stadium der Rotgrünblindheit zu erfolgen pflegt.

Atypische Formen von Rotgrünblindheit.

Ob sich die Rotgrünblindheit, welche wegen ihres einheitlichen regelmäßig wiederkehrenden Verhaltens als typische bezeichnet wurde, mit weiteren physiologischen Untersuchungsmethoden noch in mehrere Untergruppen wird zerlegen lassen, muß die Zukunft ergeben.

Aber auch mit den gebräuchlichen klinischen Prüfungsmethoden lassen sich Formen auffinden, welche zwar Störungen im Bereiche des Rotgrünsinnes aufweisen, die aber von der typischen Rotgrünblindheit deutlich abweichen.

Bisher liegen nur einzelne Beobachtungen vor (*Köllner* 74). Daher läßt sich weder über Häufigkeit noch über Vorkommen und Bedeutung „atypischer Formen" vorläufig etwas Bestimmtes sagen.

Das Charakteristische der bisher beobachteten Fälle lag darin, daß nur die Empfindung Rot gestört erschien, nicht merklich aber die Grünempfindung. Das ganze rote Ende des Spektrums bis über die Natriumlinie hinaus erschien nämlich rein Gelb, von Rotempfindung war keine Rede.

Ebenso wurde dementsprechend das Violett von Blau wenig unterschieden (ganz ähnlich wie bei jeder Rotgrünblindheit überhaupt gleichzeitig mit Verlust der Rotempfindung auch Violett mehr blau erscheint).

Dementsprechend verhielt sich der betreffende Patient auch gegenüber der Rayleighgleichung abweichend: er war unempfindlich gegenüber vermehrter Rotzumischung, und sah ähnlich den Rotgrünblinden selbst reines Gelb und Rot gleich. Dagegen fehlte die geringe Empfindlichkeit gegenüber vermehrter Grünzumischung, wie sie bei der typischen erworbenen Rotgrünblindheit die Regel bildet, vollkommen. Auffiel dabei noch, daß das Rot dem Patienten außerordentlich hell erschien (hellstrohgelb).

Als Erläuterung seien noch einige nähere Angaben des einen Falles gegeben. Die Farbensinnstörung trat vorübergehend einseitig auf während des Rückganges eines zentralen absoluten Skotoms im Verlaufe einer Sehnervenentzündung. Die Sehschärfe war bereits wieder nahezu normal.

Bei Betrachtung des Spektrums reichte die *Endstrecke*, d. h. der Spektralteil, innerhalb dessen sich die verschiedenen homogenen Lichter lediglich durch ihre Helligkeit unterscheiden, bei dem Patienten bis ins Grüngelb, etwa bis zur Wellenlänge 580 $\mu\mu$, also viel weiter als beim Normalen (etwa 660—650 $\mu\mu$), aber auch nicht so weit, wie beim *angeboren* Rotgrünblinden (540—535 $\mu\mu$).

Der Patient nahm natürlich eine „Gleichung" zwischen den beiden Spektrallichtern Lithiumrot und Natriumgelb an, wie es auch der typisch Rotgrünblinde tut. Denn auch für ihn lag eben Spektralrot und Gelb innerhalb seiner Endstrecke. Aber das Helligkeitsverhältnis beider Lichter wich von dem des erworbenen Rotgrünblinden sowohl wie von dem des Protanopen und Deuteranopen erheblich ab; denn das Gelb mußte für den Patienten außerordentlich viel heller gemacht werden. Stellte beispielsweise der Patient die Spaltweite des gelben Lichtes auf 20—22 ein, so brauchte der Deuteranop bei der gleichen Helligkeit das Rot Spaltweite 11, der Protanop Spaltweite 3—4.

Augenscheinlich übten also diejenigen Spektrallichter, welche der Normale rot sieht (der Patient gelb), einen abnorm hohen Reizwert auf das Sehorgan aus, viel höhere, als bisher bei allen angeborenen und erworbenen Farbensinnstörungen beobachtet worden ist.

Eine Erklärung für dieses Verhalten zu geben, ist zur Zeit unmöglich. Vielleicht handelt es sich hier um eine krankhafte Steigerung der Funktion des Sehorganes bei Reizung mit langwelligen (für den Normalen roten) Lichtern. Man wird auch unwillkürlich daran erinnert, daß ja auch bei hochgradig gesteigerter Lichtintensität Lichter, welche sonst die Empfindung rot hervorrufen, in hellem Gelb gesehen werden (vergl. S. 10).

Auffallend ist aber die große Ähnlichkeit mit dem Verhalten mancher normaler Beobachter, welche auf der Grenze zwischen Farbenschwäche und normalem Farbensinn stehen. Diese haben ebenfalls nur eine Unterempfindlichkeit für rote Lichter, auch sie sehen — wenn auch nicht sofort, doch nach kurzer Beobachtungszeit — Lithiumrot und Natriumgelb gleichmäßig gelb (Köllner 5). Ja einige Male bestand eine so geringe Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede, daß die Rotgelbgleichung bei einer Helligkeitseinstellung angenommen wurde, welche ebenfalls über die Deuteranopengleichung erheblich hinausging, ähnlich wie bei den oben genannten Patienten. Man könnte demnach auch daran denken, daß die atypische Farbensinnstörung lediglich eine graduelle Herabsetzung derartiger physiologischer Abnormitäten darstellt, welche damals ja noch unbekannt waren. In Zukunft wird man hierauf achten können.

Nicht gar selten findet man scheinbare Abweichungen von dem typischen Verhalten der Rotgrünblindheit, wenn man den Patienten rote und grüne Objekte vorhält und diese benennen läßt. Dann wird wohl das grüne Objekt zuweilen richtig bezeichnet, das rote nicht. Hiermit ist noch keine Abweichung von der Rotgrünblindheit bewiesen: auch ein Patient mit erworbener Rotgrünblindheit kann mit sekundären Hilfsmitteln (Helligkeit, Sättigung usw.) ähnlich wie bei der angeborenen Rotgrünblindheit die Farbe auch mal richtig benennen. Ich habe mich mehrfach mit Hilfe von Gleichungen überzeugen können, daß in Wirklichkeit doch Rot bis Gelbgrün völlig gleichfarbig (gelblich) vom Patienten gesehen wurden.

Erworbene totale Farbenblindheit (monochromatische Farbensysteme).

Begriff der erworbenen totalen Farbenblindheit.

Eine totale Farbenblindheit liegt dann vor, wenn alle möglichen Lichtreize, also auch alle spektralen Lichter sich nur durch ihre Helligkeit unterscheiden, im übrigen aber unter einander völlig gleich und farblos aussehen. Auch zwei Spektrallichter aus den entgegengesetzten Enden des Spektrums, also z. B. Rot

und Blau dürfen nebeneinander betrachtet, nicht mehr farbig unterschieden werden. Zeigt man also in einem Spektralapparat zwei beliebige homogene Lichter nebeneinander und reguliert ihre Helligkeit entsprechend, so muß sich stets eine vollkommene „Gleichung" zwischen ihnen erzielen lassen.

Auch der Begriff des monochromatischen Farbensystems kann nur für eine bestimmte Versuchsanordnung gelten (vergl. auch erworbene Rotgrünblindheit).

Vorkommen.

In der größten Mehrzahl der Fälle bildet die totale Farbenblindheit das Endstadium der progressiven Rotgrünblindheit. Das gilt auch dann, wenn vorher nicht das Stadium der Rotgrünblindheit nachgewiesen werden konnte, denn die Degeneration des Farbensinns kann auch plötzlich erfolgen, sie braucht keine schleichende zu sein, so z. B. in manchen Fällen von Apoplexien. Kehrt dann die Farbenempfindung langsam zurück, so geschieht dies doch wieder auf dem Wege der Rotgrünblindheit.

Seltener ist die totale Farbenblindheit dadurch bedingt, daß eine partielle Farbenblindheit zu einer anderen bereits länger oder kürzer bestehenden hinzutritt. Es handelt sich dann um Zusammentreffen von Formen partieller Farbenblindheit, bei welchen die Farbenempfindung in gewissem gegensätzlichen Verhalten steht, also Rot-Grünblindheit (Protanopie, Deuteranopie) und Blaugelbblindheit (Tritanopie).

Es ergeben sich dabei folgende Möglichkeiten der Entstehung totaler Farbenblindheit:

a) Erworbene Tritanopie + Protanopie (beobachtet von König 84).
b) Erworbene Tritanopie + Deuteranopie (beobachtet von Köllner 89).
c) Erworbene Tritanopie + erworbene Rotgrünblindheit
d) angeborene Tritanopie + erworb. Rotgrünblindheit
(c und d: beobachtet von Piper 87 und Köllner 91).

Aus diesen verschiedenen Entstehungsmöglichkeiten geht schon hervor, daß eine totale Farbenblindheit durch Erkrankungen an jeder Stelle der Sehbahn von der Netzhaut bis zur Hirnrinde bedingt sein kann.

Bei Erkrankungen der Netzhaut, z. B. Ablösungen, welche lange Zeit bestehen, tritt allmählich ein so starkes Sinken aller Funktionen auf, daß unter anderem auch der Farbensinn völlig in Verlust geraten kann. Dann handelt es sich eben um eine letzte Vorstufe zum völligen Funktionsausfall. Bei relativ gutem Sehvermögen wurde bisher nur zweimal eine totale Farbenblindheit beobachtet, beide Male bestand eine angeborene Rotgrünblind-

heit, zu welcher eine frische Netzhauterkrankung, wahrscheinlich mit einer erworbenen Gelbblaublindheit verknüpft, hinzugetreten war (1 Fall von Protanopie mit Netzhautablösung von König, 1 Fall von Deuteranopie mit Netzhauterkrankung von Köllner).

Bei Erkrankungen der Leitungsbahnen ist die totale Farbenblindheit stets der Endausgang der progressiven Rotgrünblindheit. Sie ist deswegen fast stets auch mit einer stärkeren Herabsetzung des Sehvermögens verbunden, gleichgültig an welcher Stelle der Erkrankungsherd sitzt und welcher Natur er ist, ob Atrophie oder Entzündung. Eine Ausnahme können gewisse Formen von Sehnervenentzündung machen, welche mit starkem Ödem der Netzhaut einhergehen (z. B. luetische und albuminurische Formen). Hier kann sich zuweilen ziemlich frühzeitig totale Farbenblindheit einstellen (die dann wahrscheinlich als Kombination erworbener Gelbblau- und Rotgrünblindheit aufgefaßt werden muß). Auch bei schnellem Rückgang von Prozessen innerhalb der Sehbahn (z. B. luetische basale Erkrankungen der Sehbahn, multiple Sklerose, Intoxikationen usw.) die zu einer totalen Farbenblindheit geführt hatten, kann diese noch vorhanden sein, wenn schon das Sehvermögen sich wieder gebessert hat (vergl. Rotgrünblindheit S. 180).

Bei Erkrankungen der Hirnrinde tritt die totale Farbenblindheit zuweilen apoplektiform auf, gewöhnlich in Verbindung mit hemianopischen Gesichtsfelddefekten. Auch hier ist sie nur das Endstadium der progressiven Rotgrünblindheit (Näheres s. S. 298). Ebenso kann sie als funktionelle Störung bei Hysterie usw. auftreten.

Das Sehen der total Farbenblinden.

Den total farbenblinden Patienten fehlt vollkommen jedes Unterscheidungsvermögen für Farben, sie müssen deswegen alle Gegenstände einfarbig sehen, etwa wie eine Photographie[1]). Auch das Spektrum erscheint ihnen als ein einfarbiges Band nur in verschiedener Helligkeitsabstufung.

Nach den bisherigen Erfahrungen muß das Sehen jedoch im allgemeinen als ein farbloses bezeichnet werden, das heißt es bewegt sich von Schwarz nach Weiß hin (tonfreie Farbenreihe nach Hering).

[1]) Ist die totale Farbenblindheit nur auf einen Teil des Gesichtsfeldes beschränkt, etwa die Makulagegend, so dürfen natürlich dabei die Gegenstände nicht unter einem größeren Gesichtswinkel gesehen werden, als dem Skotom entspricht.

Dabei ist es gleichgültig auf welche Weise die totale Farbenblindheit entstanden ist, ob direkt aus einem normalen Farbensinn, oder aus einer Deuteranopie oder Protanopie usw. Ebenso ohne Einfluß ist die Art der Helligkeitsverteilung im Spektrum (s. u.).

Die Prüfung der Empfindungsqualität erfolgte durch Vergleich mit dem anderen Auge in den Fällen von König und Köllner. Hier war das zweite Auge dichromatisch. Es gelang nun im Spektrum ein Licht herauszufinden, welches, abwechselnd mit dichromatischem und total farbenblindem Auge betrachtet, den gleichen farbigen Eindruck hervorrief. Dieses Licht war gleichzeitig die Gegend des „neutralen Punktes" des betreffenden dichromatischen Farbensystems (bei König Protanopie, bei Köllner Deuteranopie). Da der neutrale Punkt dichromatischer Systeme farblos gesehen wird, so war damit der Beweis des farblosen Sehens bei der totalen Farbenblindheit erbracht.

In anderen Fällen (Uhthoff 82, Siemerling 83, Pergens 85, Nagel, Piper 87) erfolgte die Feststellung der Empfindung nach dem Erinnerungsvermögen der Patienten, d. h. durch Benennenlassen farbiger Objekte.

In einem weiteren von mir beobachteten Falle (91) fiel allerdings die Empfindung des total farbenblinden Auges nicht mit derjenigen des neutralen Punktes auf dem anderen, dichromatischen (tritanopischen) Auge zusammen, sondern etwa 10 $\mu\mu$ Wellenlänge davon entfernt derart, daß sie mit beiden Augen als grünlichgrau bezeichnet wurde. Eine derartige vereinzelte übrigens geringe Abweichung berechtigt jedoch noch nicht zu besonderen Schlüssen über die Sehweise der Totalfarbenblinden. Denn da es sich um eine Erkrankung des Cerebrospinalsystems handelt, sind wir völlig ohne Kontrolle über innere nicht adäquate Reize, durch welche die Sehqualität beeinflußt werden kann. Klinische Beobachtungen machen ja derartige Reizvorgänge wahrscheinlich, die sich dann in einem „Farbigsehen" (Grünsehen usw.) äußern (vergl. auch S. 199 ff.).

Für das Wesen des monochromatischen Farbensystems wäre es übrigens belanglos, welcher Art diese eine Empfindungsqualität wäre, ob grau oder farbig, ähnlich wie Abzüge photographischer Platten, die auf verschieden getöntem Papier hergestellt sind, an dem einfarbigen Prozeß nichts ändern (vergl. auch angeborene totale Farbenblindheit S. 32).

Das Spektrum erscheint also als ein farbloser Streifen von verschiedener Helligkeit. Diese Helligkeitsverteilung ist bei der erworbenen totalen Farbenblindheit stets eine ganz andere, wie bei der typischen angeborenen[1]) (vgl. Taf. II, Fig. 4 u. Taf. III, Fig. 7).

Letztere stimmt in charakteristischer Weise mit dem Dämmerungssehen des Normalen überein, d. h. die hellste Stelle im Spektrum entspricht dem Grün (S. 33). Die erworbenen monochromatischen Farbensysteme dagegen sind selbst bei Berücksichtigung aller Beobachtungsfehler vollkommen verschieden von dem Dämmerungssehen des Normalen, die hellste Stelle im Spektrum liegt im Orange bis Grüngelb (zwischen 600—570 $\mu\mu$).

[1]) Die Möglichkeit, daß auch angeborene andere Formen totaler Farbenblindheit beobachtet werden können, wird damit nicht geleugnet.

Verschiedene Formen der erworbenen totalen Farbenblindheit.

Die erworbene totale Farbenblindheit stellt kein einheitliches System dar, wie die typische angeborene, sondern es sind bereits mehrere Formen bekannt, die sich natürlich lediglich durch ihre verschiedene Helligkeitsverteilung im Spektrum unterscheiden.

Die Prüfung der Helligkeitsverteilung geschieht nach der Methode der Gleichungen (S. 12). Die eine Hälfte eines Spektralapparates wird nacheinander mit den verschiedenen Spektrallichtern erleuchtet, die andere Hälfte dagegen mit einem beliebigen, aber konstanten Vergleichslicht z. B. rot. Die Helligkeit dieses Rot muß veränderlich sein. Da der Totalfarbenblinde alle Lichter nur verschieden hell, sonst aber gleich sieht, so genügt eine Regulierung der Helligkeit des roten Vergleichslichtes, um völlige „Gleichungen" zwischen allen homogenen Lichtern einerseits und dem Rot andererseits zu erzielen. Die Helligkeit, welche dem roten Vergleichslicht jedes Mal gegeben werden muß, kann gemessen werden und gibt dann die Helligkeitsverteilung im Spektrum an, oder auch, mit anderen Worten, die Reizwerte welche die verschiedenen Spektrallichter auf das Auge ausüben.

Über die graphische Darstellung der Helligkeitsverteilung in Kurvenform vergl. S. 20. Der Gipfel der Kurve gibt die Stelle an, wo das Spektrum dem Farbenblinden am hellsten erscheint (hier haben die spektralen Lichter die größten Reizwerte).

Bis jetzt sind drei verschiedene Formen beobachtet worden, nämlich

1. die Helligkeitsverteilung entspricht den Peripheriewerten des Normalen (S. 27), die bei weitem häufigste Form;
2. die Helligkeitsverteilung entspricht einer der bekannten Aichwertkurven angeborener Systeme (S. 39),
   a) Der Deuteranopen-W-Kurve,
   b) der Protanopen-W-Kurve.

1. Totale Farbenblindheit mit einer Helligkeitsverteilung entsprechend den Peripheriewerten.

Diese Form ist die bei weitem häufigste; bei Sehnervenleiden und zerebralen Erkrankungen ist sie ausschließlich beobachtet worden. Wohl fast alle in der ophthalmologischen Literatur mitgeteilten Beobachtungen von erworbener totaler Farbenblindheit dürften hierher gehören, wenn auch nur in 6 Fällen der Untersuchungsbefund ein Urteil über die Art der Helligkeitsverteilung im Spektrum gestattet. Diese 6 Fälle betreffen zweimal Sehnervenatrophien unbekannter Ursache (Piper 87, Köllner 91) einmal Neuritis nervi optici (Nagel), zweimal eine zentrale Herderkrankung vergesellschaftet mit rechtsseitiger Hemianopsie (Uhthoff 82), Siemerling 83) und einmal trat sie im Anschluß an Typhus auf bei sonst negativem Befunde (Pergens 85).

Möglicherweise lag in den beiden Fällen von Piper und Köllner gleichzeitig noch Tritanopie vor, wenigstens war das andere Auge tritanopisch. Die Entscheidung ist scheinbar leicht: man würde bei Tritanopie eine stärkere Abnahme der Helligkeit im Blau bezw. Violett erwarten. In Wirklichkeit sind jedoch hier die Reizwerte ohnehin nicht hoch, sodaß es schwer wird Beobachtungsfehler mit Sicherheit auszuschalten.

Die Feststellung der Helligkeitsverteilung erfolgte in drei Fällen z. T. aus technischen Gründen nur mit Pigmentfarben (Uhthoff benutzte noch den Farbenkreisel und Pergens ließ ein bandförmiges Spektrum betrachten).

In den übrigen 3 Fällen (Piper, Köllner, Nagel) wurde die Helligkeitsverteilung mit spektralen Gleichungen bestimmt, in der Weise wie oben angegeben. Sie stimmte bei allen drei in befriedigender Weise mit der Helligkeitsverteilung im Spektrum des Normalen überein. Ein Beispiel hierfür bilden die Zahlen der folgenden Tabelle, welche die Verteilung der Helligkeit über das Spektrum genauer illustrieren:

Reiz- (Aich-) werte nach Piper
(Objektgröße 1⁰).

Spektraler Ort des homogenen Lichtes in $\mu\mu$	Relative Reizwerte[1]) (Mittelwerte aus 6 Einstellungen)
670	13
622	49
598	63
576	61
557	49
540	33
525	24
512	13
499	6,5
488	3,5
477	2,9
467	2,0
457	1,2

Übersichtlicher ist auch hier wieder die graphische Darstellung in Kurvenform, welche die Übereinstimmung mit der Helligkeitsverteilung der Normalen deutlich zeigt (Fig. 23, S. 159 eigene Beobachtung).

Mit der Helligkeitsverteilung im Spektrum des Deuteranopen besteht natürlich ebenfalls eine gewisse Ähnlichkeit[2]). Nimmt man jedoch eine Gegenüberstellung des Patienten mit einem Deuteranopen vor, derart, daß beide abwechselnd ihre Gleichheitseinstellungen betrachten und kontrollieren, so lassen sich doch die kleinen Unterschiede (flacherer Abfall der Kurve in der Gegend des Grün) zuweilen nachweisen (die Fälle von Piper, Köllner

[1]) Die absolute Höhe der Werte ist, wie bei allen mitgeteilten Reiz- und Aichwerten, bedeutungslos; die Werte sind nur als relativ, d. h. in ihrem Verhältnis zu einander zu betrachten, sie können somit sämtlich auch mit einem beliebigen Faktor multipliziert werden.

[2]) Vergl. die Ähnlichkeit zwischen Deuteranopie und erworbener Rotgrünblindheit.

und Nagel). Die Gegenüberstellung zwischen dem Deuteranopen und dem Totalfarbenblinden, also einem Dichromaten und einem Monochromaten, ist bis zum Gelbgrün im Spektrum deswegen möglich, weil die Endstrecke des Deuteranopen bis hierher reicht.

Die Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeiten ist nur einmal (Piper) mit Schwarzweißmischungen am Farbenkreisel untersucht worden. Es wurde kein Unterschied gegenüber dem Verhalten des Normalen gefunden.

2. Totale Farbenblindheit mit einer Helligkeitsverteilung entsprechend nur einer der 3 normalen Aichwertkurven.

Diese für den Physiologen höchst interessante Form der totalen Farbenblindheit ist bisher erst zweimal (König, Köllner) beobachtet worden und beide Male war die Entstehung die gleiche. Es bestand eine doppelseitige angeborene Farbenblindheit (Protanopie bei König, Deuteranopie im anderen Falle). Als dann eine Netzhauterkrankung hinzutrat (Ödem bezw. Netzhautablösung), entstand an umschriebener Stelle des Gesichtsfeldes totale Farbenblindheit. Da nun derartige exsudative Erkrankungen der Netzhaut in der Regel eine ganz bestimmte Farbensinnstörung zur Folge haben, nämlich eine erworbene Tritanopie (Blaugelbblindheit), so liegt in beiden Fällen wahrscheinlich wohl ein Zusammentreffen von angeborener Rotgrünblindheit und erworbener Blaugelbblindheit vor. Die Helligkeitsverteilung im Spektrum bei der resultierenden totalen Farbenblindheit entsprach denn auch vollkommen den theoretischen Erwartungen. Nämlich bei dem Protanopen stimmte sie vollkommen mit der Protanopen-W-Kurve (S. 39), bei dem Deuteranopen mit der Deuteranopen-W-Kurve überein (S. Figur 25).

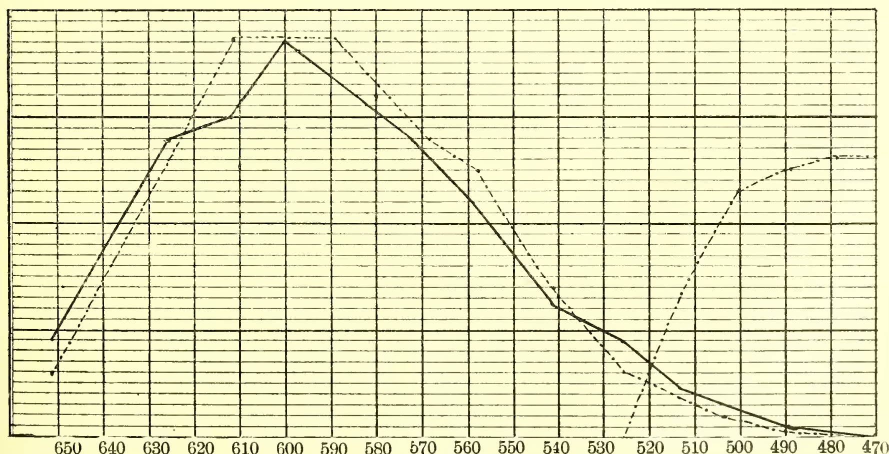


Fig. 25.
Totale Farbenblindheit mit Helligkeitsverteilung entsprechend der Deuteranopen-W-Kurve (Köllner).
———— Kurve des monochromatischen linken Auges.
—.—.—.—. Kurven des dichromatischen rechten Auges.

Das Wesen der erworbenen Tritanopie beruht vor allem darin, daß die dritte Aichwertkurve, nämlich die K-Kurve der Protanopen und Deuteranopen (s. S. 39) nicht mehr nachweisbar wird. Beim Normalen bleiben dann noch zwei Aichwertkurven übrig: es entsteht ein dichromatisches System. Der Deuteranop und Protanop hat aber von vornherein nur zwei Aichwertkurven aufzuweisen, nämlich die W-Kurve und die K-Kurve; wird ihm die letztere durch die hinzutretende Tritanopie genommen, so kann nur noch die W-Kurve übrig bleiben.

Die beiden Fälle bilden somit gleichzeitig einen schönen Beweis für die Richtigkeit derartiger Überlegungen.

Der Unterschied gegenüber der vorhergehenden Gruppe ist nicht schwer, wenn die Helligkeitsverteilung der Protanopen-W-Kurve entspricht. Es kommt einfach auf den Unterschied zwischen den Peripheriewerten des Normalen und denen des Protanopen heraus. Bei jenem liegt die hellste Stelle im Gelborange, bei diesem im Grüngelb (570 $\mu\mu$). Schwieriger ist die Unterscheidung bei der Deuteranopen-W-Kurve, welche von den Peripheriewerten des Normalen nur wenig abweicht. Es empfiehlt sich die Gegenüberstellung mit einem Deuteranopen vorzunehmen.

Prognose.

Die erworbene totale Farbenblindheit ist in keiner Weise ein Zeichen dauernder Zerstörung des Farbensinnes. Sie kann wieder vollkommen verschwinden und der Farbensinn völlig normal werden. Inwieweit das geschieht, hängt natürlich wiederum von dem zu grunde liegenden Krankheitsprozeß ab.

Die Wiederherstellung geht bei der 1. Form in der Regel so vor sich, daß sich zunächst das Stadium der erworbenen Rotgrünblindheit wieder einstellt, das heißt, der Kranke sieht nicht mehr alles grau, sondern er unterscheidet wieder zwei Farbentöne — gelb und blau — zunächst nur ganz schwach und ungesättigt, allmählich deutlicher. Die Rotgrünblindheit bildet sich dann weiter zum normalen Farbensinn zurück (s. später).

Diese sozusagen typische Art der Rückbildung ist wiederholt beobachtet worden bei Sehnervenerkrankungen infolge Intoxikationen (z. B. Alkohol) (Uhthoff 82), vor allem aber bei der zerebral entstandenen totalen Farbenblindheit (Fälle von Steffan 80, Siemerling 83, Posada-Armigo 81 u. a.).

Bei Neuritiden, bei welchen eine totale Farbenblindheit durch Zusammentreffen erworbener Rotgrünblindheit und erworbener Tritanopie entstanden ist, könnte unter Umständen bei der Rückbildung die Tritanopie länger andauern, wie die Rotgrünblindheit und dadurch eine Wiederherstellung nicht über das Stadium der Rotgrünblindheit, sondern der Blaugelbblindheit erfolgen. Sichere klinische Beobachtungen hierüber sind mir nicht bekannt.

Lag ursprünglich eine angeborene Farbenblindheit vor (Gruppe 2), so kann die Wiederherstellung der Farbenempfindung freilich nur wieder im Sinne der früheren Farbenblindheit erfolgen. Das wurde in dem einen Falle in der Tat beobachtet (Köllner 89).

E. Das Farbigsehen (Chromatopie).

Mit Chromatopie bezeichnet man einen zeitweise auftretenden Zustand, bei welchem auch Objekte, welche für gewöhnlich nicht in bunten Farben, sondern Weiß, Grau oder Schwarz gesehen werden, nunmehr in irgend einer bestimmten Farbe, z. B. rot erscheinen. Es ist dabei gar nicht notwendig, daß gleichzeitig eine Erregung des Sehorganes mit Licht stattfindet, das Farbigsehen kann auch im Dunkeln z. B. bei geschlossenen Augen auftreten.

Die Chromatopie nimmt zuweilen das ganze Gesichtsfeld ein, doch oft auch nur einzelne Teile. Die Patienten sehen in diesem Falle auf allen Gegenständen, die sie anblicken, farbige Flecke.

Die auffälligste Erscheinung ist, wie gesagt die, daß sonst farblose Objekte plötzlich in irgend einem bunten Farbenton, z. B. rot, gelb usw. erscheinen, der oft nur blaß, „ungesättigt" zu sein braucht, aber ebenso gut eine auffallend lebhafte „gesättigte" Farbe darstellen kann. Aber auch die farbigen Gegenstände der Außenwelt mit ihren unreinen Farben sehen während der Chromatopie anders gefärbt aus wie früher; zu ihrer bisherigen Farbe tritt nämlich noch der neue subjektive Farbenton hinzu, er mischt sich gleichsam mit ihr; so werden beim Gelbsehen blaue Objekte mehr grünlich usw.

Man könnte meinen, daß bei einer lebhaften Chromatopie schließlich alles in einem einzigen Farbenton erscheint, z. B. Gelb, und daß damit das Sehen zu einem monochromatischen geworden ist, ähnlich wie bei der totalen Farbenblindheit, nur daß die Welt nicht grau erscheint, sondern in einer bestimmten Farbe. Bisher ist jedoch auch bei lebhafter Chromatopie in einer bestimmten Farbe noch niemals das Farbensehen völlig monochromatisch geworden. Noch niemals haben etwa bei Gelbsehen alle Lichtreize nur eine einzige Empfindungsqualität ausgelöst, so daß ein helles Spektrum als gleichmäßig gelbes Band erschien ähnlich wie bei der totalen Farbenblindheit als grauer Streifen[1]).

---

[1]) Es kann nun vorkommen, daß Farbensehen sich mit Monochromasie bezw. totaler Farbenblindheit zusammen vorfindet. Dann handelt es sich eben um zwei parallelgehende Funktionsstörungen. So beobachtete Alter (100) bei einem Paralytiker mehrmals rezidivierendes Grünsehen im ganzen Gesichtsfeld. Wenn das Grünsehen aufhörte, bestand einige Male Monochromasie, indem alles farblos, grau gesehen wurde, wie es bei der erworbenen totalen Farbenblindheit der Fall ist. Erst nach einiger Zeit verschwand auch die Monochromasie, zuweilen wurde sie auch nach dem Grünsehen vermißt. Aus diesem getrennten zeitlichen Auftreten geht schon hervor, daß es sich um zwei verschiedene parallele Störungen bei dem Grünsehen und der Monochromasie handelt, die allerdings durch das gleiche Moment ausgelöst zu werden scheinen.

Eher läßt sich die Chromatopie mit dem Blicken durch eines der gewöhnlichen „unreinen" farbigen Gläser vergleichen; auch in diesem Falle nimmt unsere Umgebung eine einheitliche Farbe nämlich die des Glases an, ohne daß dadurch unser Sehen monochromatisch geworden wäre. Es überwiegt nur die betreffende Farbe alle anderen in einer für uns ungewöhnlichen Weise.

Sehr häufig, ja, wenn nicht gar immer, spielt gleichzeitig mit der gesehenen Farbe noch deren Komplementärfarbe eine gewisse Rolle, d. h. bei Rotsehen tritt unter bestimmten Beobachtungsbedingungen gleichzeitig Grünsehen auf, mit Grüngelbsehen ist Violettsehen verbunden usw. Häufig scheint die eine Farbe das Gesichtsfeld zu beherrschen und der Patient klagt dann nur über diese. Oft beteiligen sich aber auch beide in annähernd gleichem Maße, so daß man dann kaum anders als von Grünrotsehen usw. sprechen kann.

Entweder treten die beiden Komplementärfarben kurz nacheinander auf (z. B. beim „Santoninrausch") oder gleichzeitig. Dann wechseln sie oftmals wolkenartig unter steter Bewegung im Gesichtsfeld (bei Tabes und Dementia paralytica als Grünlich- und Violettsehen beobachtet, Bregmann 101). Tritt bei frischen Netzhauterkrankungen Grünlichsehen als umschriebenes Skotom im Gesichtsfeld auf, so erscheint dieser grüne Fleck häufig rötlich umsäumt. In anderen Fällen wieder erscheinen hellere Gegenstände in der einen Farbe, die dunklen in der Gegenfarbe (so beim Rotsehen nach Schneeblendung helle Objekte rot, dunkle grün).

Das Farbigsehen kann sich in allen erdenklichen Farbentönen, Sättigungs- und Helligkeitsabstufungen abspielen, durchaus nicht etwa nur im Bereiche der vier Farben Rot, Grün, Gelb, Blau.

Vorkommen. Die Chromatopie hat mit den übrigen Störungen des Farbensinnes, gleichgültig, ob angeborene oder erworbene Farbenblindheit, nichts zu tun. Sie ist etwas neues, das hinzukommt und kann ebenso bei normalem Farbensinn wie bei Farbenblinden jedweder Art[1]) vorübergehend auftreten. Daher findet man sie auch nicht selten zusammen mit anderen erworbenen Farbensinnstörungen, z. B. der progressiven Rotgrünblindheit.

Die Grenze gegenüber der Physiologie ist hier, wie überall in der Pathologie bei näherem Zusehen recht unscharf. Auch bei Gesunden kommen zuweilen vorübergehende Andeutungen von Farbensehen vor (vergl. Hilbert 4); die Abgrenzung ist umso schwerer, als das Sehen „farbiger Flecken" Erscheinungen sehr nahe steht, welche zu den häufigsten Klagen bei allen möglichen

[1]) Bei diesen nur im Bereiche ihrer wenigen Empfindungsqualitäten.

Erkrankungen gehören, wie Funken- oder Flammensehen, farbige Lichtblitze usw., und welche schon physiologisch bei jedem Niesen und kräftigem Hustenstoß auftreten.

Nach der anderen Seite geht das Farbensehen ohne scharfe Grenze in das Gebiet der Gesichtshalluzinationen über, sodaß man geradezu von Farbenhalluzinationen sprechen kann (H i l b e r t 92). Diese bilden dann eine Begleiterscheinung einer Reihe psychischer Erkrankungen.

Die U r s a c h e n für die Chromatopie sind äußerst mannigfaltige.

Nur in einem kleinen Teil der Fälle ist sie eine rein p h y s i k a l i s c h e. Nämlich das gemischte — weiß oder farbig schimmernde — Licht, welches die perzipierenden Organe der Netzhaut trifft, kann plötzlich d u r c h A b s o r p t i o n in seiner Zusammensetzung geändert werden, entweder innerhalb der brechenden Medien oder in der Netzhaut selbst. In diesem Falle entspricht in der Tat die Chromatopie völlig dem Sehen durch ein buntes Glas.

Entfernt man z. B. durch Staroperation die gelb gefärbte Linse aus dem Auge, so fällt die bisherige Absorption blauer Lichtstrahlen fort und der Patient erhält den Eindruck, als wenn er nunmehr durch ein bläuliches Glas sähe. Eine präretinale Blutung muß wie eine rote Scheibe erscheinen u. a.

In der Mehrzahl muß man aber sogen. i n n e r e R e i z v o r g ä n g e annehmen, die z. T. vollkommen unabhängig von dem Lichteinfall in das Sehorgan verlaufen können. Nach dem Gesetz der exzentrischen Projektion werden auch diese Farbenerscheinungen in die Außenwelt verlegt und mischen sich mit den Eindrücken, die das Sehorgan von dort empfängt.

Welcher Natur diese Reize sind, ist nicht immer zu entscheiden. Man kann sie sich z. T. als mechanische denken, z. B. vermehrte Blutfüllung in den Gefäßen, schrumpfende Bindegewebsmassen usw. Jedenfalls können innerhalb der Retina derartige Prozesse zweifellos Farbigsehen hervorrufen (z. B. Sehen farbiger Funken bei Netzhautablösung).

Einen großen Anteil haben t o x i s c h e R e i z e, und so beobachtet man denn auch bei zahlreichen Vergiftungen Licht- und Farbenerscheinungen, die z. T. geradezu typisch für das betreffende Gift sind (Gelbsehen bei Santoninvergiftung, das schöne Farbenspiel beim Meskalrausch u. a. m.[1])).

Eine große Anzahl von Erkrankungen des Zentralnervensystems sowohl organischer wie funktioneller Natur führen ebenfalls zu

---

[1]) (S. auch Abschnitt Intoxikationen). Zusammenstellung einschlägiger Fälle bei H i l b e r t (93).

Chromatopien. Nicht selten besteht im ersteren Falle gleichzeitig eine Sehnervenerkrankung mit entsprechender Farbensinnstörung, doch kann sie ebenso auch fehlen. In erster Linie sei die Tabes und Dementia paralytica genannt. Überhaupt werden Erkrankungen der Leitungsbahnen häufig von Chromatopie begleitet, die zuweilen nur angedeutet ist, zuweilen auch lebhafter werden kann (vergl. Filehnes Selbstbeobachtung, 96). Von funktionellen Erkrankungen kommt vor allem die Neurasthenie und Hysterie in Betracht, ferner Farbensehen als Aura epileptica u. a. m.

Schließlich kommt auch im Gefolge schwächender Infektionskrankheiten, Typhus, Influenza usw. Chromatopie vor[1]).

Die diagnostische Bedeutung der Chromatopie ist bei ihrer weiten Verbreitung nur eine verhältnismäßig geringe. Wenigstens läßt sich aus der Angabe, daß ein Patient „farbig sieht", etwa rot usw., irgendein bestimmter diagnostischer Schluß nicht ziehen. Es kann sich stets ebensowohl um eine lokale Erkrankung des Auges handeln wie um ein zentral ausgelöstes Symptom im Gefolge von Nervenkrankheiten. Zweifellos stellen jedoch die letzteren die Hauptursache dar. Auch bei ihnen wieder können wir nicht aus dem Farbensehen allein entscheiden, ob eine funktionelle Erkrankung vorliegt oder eine organische. Bei beiden wird Chromatopie beobachtet, wenn auch bei Neurasthenie, Hysterie usw. vielleicht häufiger wie bei Tabes und Dementia paralytica.

Höchstens können demnach aus der Art und der Farbe der Chromatopie einige Wahrscheinlichkeitsschlüsse gezogen werden, durch welche die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Teil der Sehbahn oder des Nervensystems gelenkt wird. Beim Sehen gelbgrüner Flecke im Gesichtsfeld denke ich zunächst an diejenigen Erkrankungen der Aderhaut und Netzhaut des Auges, welche gern Gelbblaublindheit hervorrufen, d. h. in erster Linie die Netzhautablösung, nephritische Netzhauterkrankungen, auch frische Herde bei chronischer Aderhauttuberkulose u. a. m. Derartiges Grünsehen kann ebenso wie die Blaugelbblindheit längere Zeit dem Augenspiegelbilde vorangehen, z. B. bei Netzhautablösungen. In der Regel hält bei derartigen lokalen Augenerkrankungen das Grünsehen mehrere Wochen, auch länger an; wird dagegen über anfallsweise auftretendes, schnell vergehendes Grünsehen geklagt, so muß man eher an eine zentrale Ursache denken, d. h. an organische oder funktionelle Nervenleiden.

[1]) Im übrigen muß auf die einzelnen Erkrankungen verwiesen werden s. spezieller Teil.

Rotsehen über das ganze Gesichtsfeld tritt in charakteristischer Weise auf bei übermäßigem Lichteinfall in die Augen (Blendungserythropie, S. 204).

Bei Gelbsehen, wenn es sich über das ganze Gesichtsfeld erstreckt, denkt man zuerst an die Folgen der Santoninvergiftung. Aber auch bei anderen Intoxikationen (Pikrinsäure), im Verlaufe von Infektionserkrankungen u. a. ist nicht selten das Gelbsehen beobachtet worden, so daß ihm eine spezielle diagnostische Bedeutung kaum zukommt. Lokale Augenerkrankungen müssen auch hier stets ausgeschlossen werden, da auch bei Netzhauterkrankungen über Gelblichsehen geklagt wird.

Im folgenden sollen einige Hauptformen der Chromatopie eingehender besprochen werden, die ein besonderes klinisches und physiologisches Interesse beansprucht haben und noch besitzen.

Die Einteilung erfolgt gewöhnlich nach dem gesehenen Farbenton in Rot-, Gelb-, Grün-, Blau- und Violettsehen. Sie soll auch beibehalten werden; denn so wünschenswert eine Berücksichtigung der ätiologischen Momente wäre, so sind die Verhältnisse doch noch zu wenig geklärt, um sie zur Grundlage der Einteilung zu machen. Die Gruppierung nach den genannten Farben ist natürlich eine durchaus willkürliche.

a) Rotsehen (Erythropie).

Rotsehen findet sich als bekanntes Symptom bei präretinalen Blutungen bezw. Blutungen in den inneren Schichten der Netzhaut. Je nach der Größe der Blutung finden sich dann entsprechende positive Farben-Skotome, die heller oder dunkler rot erscheinen, je nach der Dicke der Blutschicht. Diese bildet gleichsam ein Filter für die ins Auge gelangenden Lichtstrahlen wie ein rotes Glas von der Absorptionsfähigkeit des Blutfarbstoffes. Es handelt sich also um eine lokale, rein physikalische Erscheinung.

Bei näherer Untersuchung zeigt sich, daß dem Patienten das spektrale Band hochgradig verkürzt erscheint, weil die grünen, blauen und violetten Strahlen absorbiert werden.

Farbige Gläser, welche gemischtes Licht durchlassen, besonders neben ihrer Eigenfarbe noch rote Strahlen, pflegen sämtlich hell- oder dunkelrot zu erscheinen, bezw. auch braun. So kommt es, daß z. B. am Farbengleichungsapparat Gleichungen zwischen fast allen farbigen Scheiben angenommen werden, da überall die durchgelassenen roten Lichtstrahlen in den Vordergrund treten.

Beispiel: Präretinale Makulablutung, $S = \frac{1}{20}$. Der Patient sieht im Gesichtsfeld einen runden roten Fleck. Das Spektrum wird nur vom roten Ende bis zum Grün gesehen.

Am Nagelschen Farbengleichungsapparat:

Einstellung	
Rot—Gelb	beide Felder erscheinen gleich und werden rot genannt. Die rote Scheibe muß dunkler gemacht werden, da sie viel mehr rote Strahlen durchläßt, als die gelbe.
Grün—Weiß Grün—Gelb	beide Felder erscheinen gleich als dunkelrot, wenn die Helligkeit reguliert worden ist.
Grün—Blau	Dunkelrot—Schwarz.

Auch bei Erkrankungen des Zentral-Nervensystems wird Rotsehen beobachtet. Es kann dabei in den verschiedensten Formen auftreten, längere Zeit andauernd oder flüchtig, über das ganze Gesichtsfeld verbreitet oder in Gestalt von Wolken, Gestalten usw., also z. T. von halluzinatorischem Charakter. Eine bestimmte Regel über die Art des Auftretens kann begreiflicher Weise kaum aufgestellt werden, wäre auch klinisch-diagnostisch ohne großes Interesse. So ist Rotsehen beschrieben bei Hysterie (s. S. 310), als epileptische Aura, bei Dementia paralytica und gar nicht so selten bei tabischen Sehnervenatrophien, hier in Begleitung der für die Atrophie typischen Farbenblindheit. Auch einige Intoxikationen seien genannt, wie Tabak- und Chininvergiftung.

Die häufigste Form des Rotsehens bildet jedoch die sogen. Blendungserythropie, die stets das Interesse der Forscher erweckt hat. Sie soll daher im folgenden etwas eingehender besprochen werden. Zu ihr sind auch z. Teil diejenigen Fälle zuzuzählen, bei welchen Rotsehen infolge Vergiftungen mit Atropin, Skopolamin und verwandten Präparaten auftrat, Stoffen, welche ein Mydriasis erzeugen und damit einen vermehrten Lichteinfall in das Auge begünstigen[1]).

Die Blendungserythropie.

Man kann eine bestimmte Art des Rotsehens mit dem Namen Blendungserythropie bezeichnen, weil sie auftritt, nachdem eine abnorm große Lichtmenge das Auge getroffen hat. Die in das Auge fallende Lichtmenge braucht dabei nicht so groß zu sein, wie sie beim Normalen etwa den Blendungsschmerz hervorruft. Vielmehr kann bei besonders Disponierten bereits helles Tageslicht zur Erzeugung der Erythropie genügen.

[1]) Auch wenn ein Auge von der Seite durch eine Lichtquelle beleuchtet wird, ohne daß Licht in die Pupille fällt während das andere Auge beschattet wird, tritt Rotsehen in der Weise auf, daß dem beleuchteten Auge dunkle Gegenstände (z. B. Buchstaben), dem beschatteten helle rötlich erscheinen. Auf diese Weise suchte man z. B. zu erklären, daß Heinrich IV. die Schachfiguren rotgefleckt sah, als er vor der Bartholomäusnacht mit dem Herzog von Alençon Schach spielte (Fuchs 105).

Die Blendungserythropie kann auftreten

a) in normalen Augen, wenn eine sehr große Lichtmenge das Auge trifft. Das gewöhnliche grelle Sonnenlicht in unseren Breiten bedingt selten Erythropie; denn gegen die von oben einfallenden Sonnenstrahlen schützen wir uns im allgemeinen durch Senken des Blickes auf den Boden, durch den Hut usw. Anders ist es bereits, wenn man sich innerhalb weißer Häusermassen bewegt, welche das Licht allseitig reflektieren. Am häufigsten tritt die Erythropie dort auf, wo selbst der Boden intensives Licht zurückstrahlt, dem das Auge nunmehr schutzlos preisgegeben ist, nämlich bei Wanderungen auf Schneeflächen und Gletschern. Dabei ist das Gebirge bevorzugt, vielleicht weil mit größeren Höhen der Reichtum des Tageslichtes an kurzwelligen Strahlen wächst und diese besonders von Schnee reflektiert werden. Vielleicht auch nur, weil man sich dort am ehesten lange Zeit schattenlos aufhält. Bei Hochgebirgstouristen wird die Erythropie daher häufiger beobachtet. Auch nach Blitzblendung und nach Beobachtung einer Sonnenfinsternis (Hilbert 106) ist sie beschrieben, ferner bei Blendung mit elektrischem Licht.

Durch künstliche Mydriasis wird das Auftreten der Erythropie zweifellos erleichtert.

b) In ähnlicher Weise kann die Blendungserythropie bei Störungen des dioptrischen Apparates auftreten z. B. wenn die abblendende Wirkung der Iris geschädigt ist, also bei angeborenen oder artefiziellen Kolobomen; sowie wenn die Linse aus dem Auge entfernt ist, welche besonders im Alter bekanntlich einen namhaften Teil der kurzwelligen (sichtbaren und ultravioletten) Strahlen von der Netzhaut fernhält. So leidet denn auch mancher Staroperierte unter der lästigen Erythropie, zumal wenn er sich hellem Licht ausgesetzt hat.

c) Die Erscheinung ist zuweilen auch bei partiellen Trübungen der brechenden Medien beobachtet worden, so bei Schichtstar (Fuchs 105), bei Cataracta secundaria (Fuchs, Purtscher 113). Hier verschwand die Erythropie nach der Discision der Membran für immer.

d) Umgekehrt kann sich die Erythropie auch unter normalen Belichtungsverhältnissen dann einstellen, wenn das Sehorgan sich in einem abnormen Erregbarkeitszustand für Lichtstrahlen befindet, d. h. besonders empfindlich schon für gewöhnliche Lichtmengen ist. So sind nervöse Erregungen (Ärger usw.) als begünstigend beschuldigt worden (Valude 107, Hilbert 106, Dimmer 109 u. a.). Einen Einfluß scheinen auch Menses (Marbourg) und Schwangerschaft (Kubli 112) zu haben infolge

von Ernährungsstörungen. Überhaupt spielen Ernährungsstörungen keine unbedeutende Rolle; so wurde Erythropie beobachtet bei Anämie (Schmid-Rimpler 115) bei Hämatemesis und Hepatitis (Hilbert) nach Laparotomie (v. Reuß u. a.); dabei macht sich die Ernährungsstörung auch zuweilen durch Auftreten von Hemeralopie bemerkbar. Bei Netzhautablösung wurde ebenfalls einmal Erythropie beobachtet (v. Reuß 120); vielleicht ist auch hier die herabgesetzte Ernährung der Netzhaut verantwortlich zu machen (man beachte die Häufigkeit der Hemeralopie bei Netzhautablösungen).

Über die Art der Lichtstrahlen, welche die Erythropie hervorrufen, ist viel gestritten worden, besonders in letzter Zeit, in der die Frage über die Schädlichkeit der ultravioletten Lichtstrahlen ausgiebig erörtert wurde. Jedenfalls spricht die Intensität der Lichtstrahlen mindestens eine ebenso große Rolle, wie die Qualität. Inwieweit die ultravioletten also unsichtbaren Strahlen überhaupt dafür verantwortlich zu machen sind, muß dahingestellt bleiben, jedenfalls wird ihnen von einigen Autoren keine ätiologische Bedeutung beigemessen, da nachgewiesen werden konnte, daß sichtbare Strahlen auch allein die Erythropie erzeugen können (vergl. Best, Vogt u. a.). Von den sichtbaren Strahlen sind es wieder vorwiegend aber nicht ausschließlich die kurzwelligen, welche leicht Erythropie hervorrufen. Die Farbe der Lichtstrahlen ist ohne Einfluß, man kann Erythropie auch erzielen, wenn man das Auge durch farbige Gläser schützt, ja auch dann, wenn rotes Licht vom Auge ferngehalten wird.

Symptome. Die Erythropie tritt mit Vorliebe dann auf, wenn der Beobachter aus dem hellen Licht in herabgesetzte Beleuchtung kommt; beim Hochtouristen z. B. dann, wenn er aus der Schneelandschaft in die dämmerige Hütte tritt.

Die Erscheinung kann dabei durchaus einseitig auftreten, z. B. wenn nur ein Auge aphakisch oder mydriatisch ist, ja es braucht nur eine Hälfte des Gesichtsfeldes, etwa die obere, beteiligt zu sein (Benson) auch die untere (Purtscher 113, Fuchs 105) oder beide Hälften in verschiedenem Grade (Valude 107). Diese „Hemierythropie“ erklärt sich wahrscheinlich aus der stärkeren Blendung einer Netzhauthälfte, z. B. durch eine Schneeebene (Fuchs 105).

Tritt man nach der Blendung etwa in ein dunkles Zimmer so erscheinen zunächst alle dunklen Gegenstände gelblichgrün, und zwar ziemlich lebhaft. Alle helleren Gegenstände werden nunmehr rot gesehen.

Die Farbe wird meist als purpurrot angegeben, die zu dem gelblichgrün komplementär ist, also im Spektrum nicht enthalten ist. Der Farbenton ist jedoch nicht konstant, sondern scheint zuweilen über zinnoberrot und die übrigen roten Töne in orange bis gelb überzugehen (van Duyse 110, Dimmer 109, Fuchs 105, v. Reuß 120), und sowohl das Auftreten wie das Abklingen der Erythropie kann durch diese Farbentöne hindurch erfolgen. Dabei ist der Farbenton unabhängig von der Farbe des einwirkenden Lichtes.

Auch im Höhestadium des Rotsehens besteht in keiner Weise eine Monochromasie, die Farben der Objekte werden durch das Rot hindurch noch größtenteils erkannt. Läßt man ein Spektrum betrachten, so erscheint nur die Gegend des Grün um 485 $\mu\mu$ grün-grau.

Prüft man den an und für sich geringen peripheren Farbensinn am Perimeter mit farbigen Quadraten während der Erythropie, so können hier alle Farben rot gesehen werden (Fuchs 105).

Sehr interessant ist, daß die Erythropie nach den Beobachtungen Fuchs', sich nicht gleichmäßig über das Gesichtsfeld erstreckt, sondern von der äußersten Peripherie hin nach der Mitte bis zu etwa 10° von der Makula entfernt an Intensität zu-, weiter nach der Fovea wiederum abnimmt. Im fovealen Sehen selbst fehlt die Erythropie zuweilen ganz oder tritt wenigstens wesentlich schwächer auf als peripher.

Übrigens soll die Erythropie auch bei Farbenblinden (Deuteranopen) auftreten (Fuchs)[1]).

Als wichtig in dieser Hinsicht soll dagegen erwähnt werden, daß bei einer Schneewanderung Haenel (70) zu einer Zeit, wo sich bei seinen Begleitern Symptome von Erythropie an den kleinen Wellen der Schneefläche bemerkbar machten, diese nicht rosenrot, sondern gelb sah. Haenel litt, wie sich dann herausstellte an einer eigentümlichen Rotgrünblindheit infolge Schneeblendung.

Die Dauer der Erythropie kann ganz verschieden sein; hierbei spielt die Art des Zustandekommens und offenbar vor allem der Grad der Disposition des Beobachters eine große Rolle. Nach der Schneeblendung beträgt sie meist nur einige Minuten (Fuchs 105), kann aber z. B. bei Aphakischen mehrere Stunden und sogar noch viel länger anhalten (v. Reuß 120). Vor allem rezidiviert sie leicht.

Solche Personen, welche für Erythropie aus irgend einem Grunde disponiert sind (s. o.), bieten unter Umständen im Eisenbahn- und Marinedienst eine gewisse Gefahr; denn während des Anfalles können ihnen alle Laternen rot erscheinen (Osswald 117).

---

[1]) Diese haben häufig eine angedeutete Rotempfindung, vgl. S. 45.

In hartnäckigen Fällen wurde die günstige Wirkung des faradischen Stromes hervorgehoben, durch den ein schnelles Verschwinden der lästigen Erscheinung erzielt wurde (v. Reuß).

Die Erklärung für die Erythropie ist noch immer nicht befriedigend gegeben. Gewisse Beziehungen scheinen zu dem Dämmerungssehen des Sehorganes bezw. zu dem Dämmerungsapparat der Netzhaut zu bestehen. Denn erstens ist die Erythropie häufig (vielleicht stets) von einer Herabsetzung der Dunkeladaptation begleitet, zweitens tritt sie ganz vornehmlich bei herabgesetzter Beleuchtung auf, also dann, wenn der Dämmerungsapparat des Auges in Anspruch genommen wird und schließlich entspricht auch ihre Verteilung über das Gesichtsfeld annähernd derjenigen des Dämmerungssehen, nämlich geringe Beteiligung bezw. Fehlen im fovealen Sehen und Maximum bei etwa 10° Entfernung von der Fovea.

Die Theorien, welche zur Erklärung aufgestellt wurden, sind so zahlreich, daß man von einer eigenen Geschichte der Erythropie sprechen kann. Z. T. wurde versucht, die Erythropie mit anderen bekannten physiologischen Erscheinungen in Verbindung zu bringen, z. T. wurde auch versucht, dem Phänomen eine mehr materielle Grundlage zu geben. Nur einige sollen hier genannt werden[1]).

Als Rotphase der Blendungsnachbilder wird die Erythropie in letzter Zeit von Vogt (121 u. 122) angesehen[2]). Fuchs sah die Ähnlichkeit mit der Verteilung des Dämmerungssehens im Gesichtsfelde und nahm ein Sichtbarwerden des Sehpurpurs an. An eine Ermüdung der Netzhaut für gewisse Lichtstrahlengattungen (Hirschler 108, Valude 107), an Vorgänge innerhalb der Rotgrünsubstanz (Best 125) wurde ebenso gedacht, wie an einen Reizzustand etwaiger rotempfindender Elemente (Scili 111, Reuß 120, Simi u. a.). Auch die Fluoreszenz der brechenden Medien und der Netzhaut wurde zur Erklärung herangezogen (Dimmer 109), eine Ausbleichung der Linse und damit Abnahme ihrer Fluoreszenz, also der Fähigkeit kurzwellige Strahlen in langwellige zu verwandeln (Schanz 123). Eine Reihe anderer Autoren haben sich für eine Erregung des Zentralnervensystems ausgesprochen, unabhängig von der Netzhaut.

b) Gelbsehen (Xanthopie).

Gelbsehen ist im Verlaufe zahlreicher Erkrankungen beschrieben worden, fast durchgängig sind es Erkrankungen des Nervensystems, Intoxikationen und Infektionskrankheiten. Hierher gehören die Neurasthenie, Gehirnerschütterung, Gelbsehen als Aura epileptica; die Intoxikationen mit Santonin, Kohlenoxyd,

[1]) Näheres siehe vor allem in den Arbeiten von Fuchs, Best, Vogt, Birch-Hirschfeld, Hilbert, daselbst auch ausführliche Literaturangabe.

[2]) Auch nach Einwirkung sehr intensiven weißen Lichtes entstehen farbige „Blendungsnachbilder“.

Chromsäure, Natrium salycylicum, Phenazitin, Pikrinsäure, Nitroglycerin, Digitalis, ferner mit Schlangengift, die Helminthiasis (ohne Santonindarreichung) und der Ikterus; schließlich im Verlaufe von Influenza, Otitis media u. a. m.

Recht häufig wird Gelbsehen auch bei lokalen Erkrankungen des Auges beobachtet, nämlich Aderhaut- und Netzhauterkrankungen, welche eine erworbene Blaugelbblindheit (Tritanopie) bedingen. Diese ist dann oft gleichzeitig nachweisbar. Beide sind wahrscheinlich als parallele Funktionsstörungen aufzufassen. Meist bleibt das Gelbsehen hier auf einzelne Teile des Gesichtsfeldes beschränkt, der Patient sieht „gelbe Flecken". Wahrscheinlich handelt es sich um die gleiche Erscheinung wie das Grünsehen (S. 213) in das es in der Tat ohne Grenze übergeht; die Patienten nennen die Farbe meist grüngelb oder gelbgrün.

Etwas näher müssen wir uns mit dem Gelbsehen im Santoninrausch und beim Ikterus beschäftigen, weil gerade hier namhafte Physiologen sich eingehend mit dem Farbensehen beschäftigt haben.

Gelbsehen bei Santoninvergiftung.

Die eigentümliche Erscheinung des Gelbsehens ist nach Lewin-Guillery schon seit dem Beginn des vorigen Jahrhunderts bekannt und wurde von Callond 1846 zum ersten Male beschrieben.

Bald nach Einnahme des Santonins[1]) (vergl. auch S. 331) tritt das Gelbsehen auf, das übrigens ohne Einwirkung von Licht nicht zu stande kommt (Rose, Siven). Alle hellen, besonders weißen Gegenstände wie Fenster, Papier usw. nehmen einen grünlichgelben Farbenton an, während dagegen die dunklen, bezw. schwarzen Objekte, z. B. Schatten violett aussehen, also wiederum in der Komplementärfarbe erscheinen.

Nach Knies können auch helle Gegenstände violett gesehen werden. Die Mehrzahl der Forscher hat jedoch nichts davon wahrnehmen können, obwohl z.T.besonders darauf geachtet worden ist (König 136, Nagel 141, Siven 142).

Der grüngelbe Farbenton, den die weißen Gegenstände annehmen, entspricht nach Königs Beobachtungen meist ungefähr einer Wellenlänge von 570—563 $\mu\mu$, also einem Licht, das mit Violett ein Komplementärfarbenpaar bildet. In der Intensität ist das Gelbsehen durchaus veränderlich, es nimmt bei ein

[1]) Die Dosis, welche zu Versuchszwecken gewöhnlich genommen wird, beträgt 0,4—0,5 auch 1,0 g santoninsaures Natron. Außer dem Farbensehen stellen sich gewöhnlich mehr oder weniger schwere Allgemeinerscheinungen, Übelkeit usw. ein. Das Farbensehen soll übrigens nur dann auftreten, wenn das eingenommene Santonin farblos und nicht bereits unter Lichteinfluß gelb geworden ist (Francesci und Giovanni 133).

und derselben Versuchsperson allmählich zu und klingt ebenso wieder ab; außerdem scheint die Stärke auch von der Intensität der Beleuchtung abzuhängen. Auch ein intermittierendes Gelbsehen wurde beobachtet, bei welchen mehrere Minuten lang das Farbensehen aufhörte.

Das Violettsehen scheint besonders bei herabgesetzter Beleuchtung dem Gelbsehen vorangehen zu können; dabei wurde beobachtet, daß gleichzeitig alle Gegenstände heller erschienen, so daß ein Beobachter nach 0,36 Natr. santon. auf der dunklen Straße alles wie mit bengalischem violettem Licht erleuchtet sah (Schön 134). Wenn das Violettsehen zugleich mit dem Gelbsehen auftritt, ist es nicht immer in gleicher Stärke ausgesprochen (vergl. z. B. Siven, dagegen Nagels Beobachtungen), für den einen tritt es fast ganz zurück, dem andern erscheinen nur Schatten, wieder andern alle dunkeln Gegenstände violett gefärbt. Eine reine Kontrasterscheinung stellt es aber wahrscheinlich nicht dar; wenigstens sah es Hüfner, Preyer u. a. wiederholt auch im vollkommen dunkeln Sehfeld, unabhängig vom Gelbsehen auftreten, sowie auch dann, wenn alle gelben Lichtstrahlen durch farbige Gläser abgehalten wurden. Im allgemeinen kann man sagen, daß die Farben der Objekte sich mit dem subjektiven Gelb- und Violettsehen gleichsam mischen. Daher werden bei heller Beleuchtung Rot mehr gelbrot, Blau grünlich gesehen, während dort, wo die Beleuchtung herabgesetzt ist, Rot mehr purpur, Gelb mehr weiß, Orange rosa usw. erscheinen (Siven, Vaughan 143).

Selbst im Zustande höchster Santoninwirkung wird aber der Farbensinn niemals in einen monochromatischen oder auch nur dichromatischen verwandelt. Das Farbensehen während der Intoxikation entspricht keiner der bekannten Typen angeborener oder erworbener Farbenblindheit, es hat eher Ähnlichkeit mit den Absorptionserscheinungen, welche beim Blicken durch ein grüngelbes Glas (Uranglas) auftreten; denn auch bei diesem kann ein Violettsehen infolge Kontrastwirkung entstehen. Damit soll jedoch nicht gesagt werden, daß das Farbensehen sich auf so einfache physikalische Weise erklären läßt (s. u.). Das Genauere über die Eigentümlichkeiten des Farbensehens geht aus den verschiedenen Beobachtungen hervor, welche mit spektralen Lichtern an Normalen und Farbenblinden gemacht worden sind.

a) Beobachtungen Farbentüchtiger (normaler Trichromaten) (v. Helmholtz, König 136, Rose 129, Siven 142, Vaughan 143 u. a.). Das Sehen bleibt durchaus trichromatisch; der Versuch mit Hülfe von Zweilichtermischungen ein dichromatisches Sehen nachzuweisen,

gelang nur unvollkommen bei herabgesetzter Beleuchtung. Am spektralen Bande zeigte sich anfangs ein Flackern im Violett nach Grau hin, später eine mehr oder weniger starke Verkürzung am violetten Ende, sonst keine wesentliche Veränderung (König, Preyer 132). Andere sahen auch eine Verkürzung am roten Ende des Spektrums (Knies 137). Trat ein Stadium allgemeinen Violettsehens auf, so wurde im Gegensatze während dieser Zeit eine leichte Verlängerung des spektralen Bandes nach beiden Seiten beobachtet (Knies).

b) Die Beobachtungen von angeborenen Farbenblinden bezw. Dichromaten, Protanop, s. Rählmann (139), Deuteranop s. Nagel (141) haben ebenfalls ergeben, daß das Sehen stets dichromatisch bleibt, niemals aber zu einem monochromatischen wird. Bei Betrachtung spektraler Lichter erscheint die warme (gelbe) Hälfte des Spektrums weiß, die kalte (blaue) Hälfte bleibt blau (am Spektralapparat die dunkle Umrahmung des gelben Feldes ebenfalls, Nagel). Auch hier erklärt sich die veränderte Farbenempfindung wohl aus einem Gemisch der ursprünglichen Empfindung mit dem subjektiven Blausehen[1]), sodaß nunmehr das Gelb, in welchem der Dichromat die langwellige Spektralhälfte sieht, durch das Blau zu weiß ergänzt wird. Große Flächen werden nach Nagel übrigens stets gelblich, nicht weiß gesehen (was vielleicht damit zusammenhängt, daß auf großem Felde Nagel nicht mehr dichromatisch ist, sondern eine Andeutung von trichromatischem System besitzt).

Die Verteilung des Farbensehens über das Gesichtsfeld hat nach den Untersuchungen von Siven (142) und Vaughan (143) ergeben, daß das Gelbsehen weißer Objekte nicht gleichmäßig besteht, sondern daß es in der Makulagegend geringer ausgeprägt ist, wie in der Peripherie, obwohl es wohl nirgends völlig fehlt (Nagel 141).

Diese Differenz zwischen Makula- und Peripheriesehen scheint bei herabgesetzter Beleuchtung deutlicher zu werden.

Im Gegensatz dazu ist zu beachten, daß Preyer die infolge des Gelbsehens auftretende Verkürzung am violetten Ende des Spektrums gerade im direkten (makularen) Sehen wahrnahm, im exzentrischen dagegen nicht (Einfluß der Adaptation! S. 21).

Die Dunkeladaptation bleibt nach den Ergebnissen der meisten Forscher normal (vergl. Siven, Knies, Vaughan u. a.). Im Gegensatz dazu ist bei der erworbenen Tritanopie bekanntlich häufig Adaptationsstörung vorhanden (S. 134), vergl. auch die Blendungserythropie (S. 206). Filehne (140) fand dagegen die Adaptation verlangsamt.

Über das Wesen des Farbensehens besteht noch immer keine einheitliche Auffassung. Jedenfalls kann man soviel sagen, daß eine rein physikalische Ursache, eine Gelbfärbung der brechenden Medien nicht vorliegt, sie konnte bisher weder in den Augenmedien, noch im Blutserum einwandsfrei nachgewiesen werden. Ebenso mißlang, bei Tieren eine Gelbfärbung der Retina festzustellen (vergl. Lewin-Guillery 128). Man muß daher eine Beeinflussung des nervösen Apparates annehmen.

---

[1]) Blau und Violett ist für den Protanopen und Deuteranopen bekanntlich eine Farbe, er unterscheidet beide nicht.

Mit einer rein physikalischen Erklärung wäre übrigens auch die Tatsache unvereinbar, daß ohne Lichteinfall Violettsehen zustande kommt sowie daß unter Santoninwirkung auch anderes Farbensehen (Grün, Rot usw.) auftreten kann (s. S. 331). Was die Lokalisation innerhalb der nervösen Bahnen anbelangt, so sind die Forscher im allgemeinen geneigt, Veränderungen der Erregbarkeit der peripheren Organe der Sehbahn als Ursache anzunehmen. Die einzelnen Theorien gehen natürlich auseinander. Einer Lähmung der blau- bezw. violettempfindenden Substanz etwa im Sinne der Helmholtzschen Theorie (Hüfner 131 u. a.) widersprach bereits König und Nagel. Auch der Gedanke Filehnes (140), daß ein gesteigerter Verbrauch der Violettsubstanz erfolgte, wurde von Nagel widerlegt. Das auch bei geschlossenen Augen auftretende Violettsehen kann nach Preyer möglicher Weise durch vermehrte Blutfüllung erklärt werden, wenigstens beobachtete er auch sonst bei zunehmender Füllung der Gefäße Andeutung von Violettsehen. Nagel läßt die Frage offen, ob ein Reizzustand der ev. Blaukomponente des Farbensinnes besteht oder ob nur die Nachwirkung eines Reizes in die Länge gezogen wird, welcher, beim Dichromaten wenigstens, auch unter normalen Verhältnissen besteht. Siven geht am weitesten, indem er das Gelbviolettsehen den Stäbchen der Netzhaut zuschiebt und die v. Kries'sche Duplizitätstheorie angreift.

Gelbsehen bei Ikterus.

Das Gelbsehen Ikterischer hat mit dem Santoningelbsehen eine gewisse Ähnlichkeit. Auch bei ihm besteht keine Monochromasie, sondern der Patient hat einen ähnlichen Eindruck als wenn er durch ein gelbes Glas sieht, welches besonders kurzwellige Strahlen absorbiert. Daher erscheint das Spektrum auch dem Ikterischen am kurzwelligen Ende früher aufzuhören, je nach dem Grade der Störung, entweder im Blau oder gar schon im Grün (Hirschberg 148). Nicht ohne Einfluß hierauf ist eine Störung der Dunkeladaptation in Gestalt mehr oder weniger ausgesprochener Hemeralopie, welche das Gelbsehen meist begleitet, wie sie ja bei Lebererkrankungen überhaupt eine häufige Funktionsstörung darstellt.

Bei der Perimeteruntersuchung besteht nach Siven in der Makula kein bezw. nur geringes Gelbsehen, sodaß sich die Verteilung über das Gesichtsfeld ähnlich verhält wie bei dem Santoninrausch.

Über das Wesen des Gelbsehens bestehen noch Meinungsverschiedenheiten. Eine Absorption durch Gelbfärbung der brechenden Medien kommt als alleinige Ursache wahrscheinlich nicht in Betracht, da sie in keinem Verhältnis zur Funktionsstörung zu stehen scheint (vergl. die Ansichten Roses mit Hirschbergs. Siven (150) geht mit seinen Schlußfolgerungen wie beim Santoninrausch so weit, daß er das Gelbsehen wieder den Stäbchen zuschreibt, die somit als Blaugelbsehend aufzufassen wären (vergl S. 100).

c) **Grünsehen** (Chloropie).

Grünsehen, richtiger Gelbgrünsehen tritt am häufigsten auf als charakteristisches Begleitsymptom bei Netzhaut- und Aderhauterkrankungen, und zwar bei frischen bezw. exsudativen Prozessen, kurz denjenigen, welche häufig eine erworbene Tritanopie bedingen (vergl. S. 115). Die Mehrzahl der in der Literatur mitgeteilten[1]) Fälle von Grünsehen dürfte hierher gehören.

Im Vordergrunde steht dabei die Netzhautablösung, an die bei Klagen über Grünsehen stets gedacht werden sollte. Auch in einem Falle akuter Hemeralopie infolge Unterernährung beobachtete ich die gleiche Erscheinung; das Grünsehen trat nur bei Morgen- und Abenddämmerung auf und machte sich besonders bei hellen Gegenständen bemerkbar (vergl. S. 249).

Das Grünsehen tritt gewöhnlich herdförmig im Gesichtsfeld auf, also als positives Farbenskotom und zwar sehr häufig zentral, ganz in der gleichen Weise, wie die erworbene Tritanopie. Die Farbe wird als mattes Meergrün, Olivgrün, Flaschengrün, Gelbgrün geschildert, sehr häufig Grüngelb selbst Gelb genannt. Der grüne Fleck im Gesichtsfeld erscheint zuweilen dem Patienten von einem rosenroten Hof umgeben (Kontrastfarbe).

Eine Patientin beschrieb mir die Farbe als ein weißliches Gelbgrün, wenn sie gegen den grauen Himmel blickte. Ich konnte die Farbe ziemlich genau auf dem Farbenkreisel für ihr gesundes Auge herstellen: nämlich 50° gelb + 90° grün + 220° weiß.

Ebenso wie bei der Erythropie ist das Sehen kein monochromatisches, wie auch S. 199 bereits betont worden ist, sondern der Patient erkennt wie durch ein schwach gefärbtes Glas hindurch die Farben der Gegenstände.

Häufig geht bei den genannten Erkrankungen dem Grünsehen ein Violett- bezw. Blauviolettsehen voran. Oft geben es Patienten erst auf Befragen an, da es meist nur kurze Zeit andauert. Ob beide Farben ebenfalls komplementär zueinander sind, wie das Grün- und das Rotsehen bei der Erythropie, ist noch nicht erwiesen, aber wahrscheinlich. Zuweilen ist auch Blau- und Grünsehen nebeneinander vorhanden.

Ein Patient teilte mir mit, daß je nach der Art der Beleuchtung, ob Tageslicht, Gasglühlicht- oder Petroleumbeleuchtung, das Blauviolett- oder Grünsehen auftrat; eine ähnliche Beobachtung beschreibt auch Chalupecky (98) bei einem — anscheinend blaublinden — Patienten.

Eine andere Patientin (mit Netzhautablösung), welche ebenfalls an Grünsehen litt, gab auf Befragen zu, daß sie ursprünglich kurze Zeit violett gesehen habe, aber mehr „rotviolett", also nach Purpur hin, d. h. annähernd einem Grün komplementär.

[1]) Hilbert (92) gibt eine gute Zusammenstellung derartiger Fälle.

In einer Reihe von Fällen wird zwar das Farbigsehen vermißt, das Tageslicht erscheint wie bei dem Normalen farblos, doch kann man noch ein negatives grünliches Skotom nachweisen.

Es wird dann das weiße Objekt des Perimeters mehr oder weniger lebhaft im Bereich des Skotoms grünlich gesehen. Die Erscheinung findet sich nicht bei allen Erkrankungen gleich häufig; besonders bei den längere Zeit bestehenden Netzhautablösungen wird sie fast regelmäßig beobachtet und ist hier allgemein bekannt.

Auf jeden Fall mache man es sich zur Regel, bei Klagen über Sehen grüner Flecken im Gesichtsfelde an frische Netz- und Aderhauterkrankungen zu denken und auf Blaugelbblindheit zu untersuchen. Das Grünsehen (bezw. Blauviolettsehen) kann auch der Vorläufer oder ein Überbleibsel einer früheren Blaugelbblindheit sein und hat in diesem Falle die gleiche diagnostische Bedeutung. Bei hochgradiger Myopie ist es in jedem Falle als Warnungszeichen einer drohenden Ablatio aufzufassen, auch wenn die Funktionsprüfung sonst noch keinen Anhaltspunkt bietet.

Das Wesen des Grünsehens bei Netzhautaffektionen ist noch dunkel. Vielleicht ist es auf Absorptionserscheinungen zurückzuführen infolge der grünlichen Flüssigkeit, welche bei derartigen Erkrankungen die Netzhaut durchtränkt und besonders die Stäbchen und Zapfen anstatt der Pigmentepithelfortsätze umgibt. Vielleicht bestehen auch Beziehungen zu dem Dämmerungsapparat, der bei den in Frage kommenden Prozessen meist erheblich in Mitleidenschaft gezogen ist; auch das Vorkommen bei akuter Hemeralopie spräche hierfür.

Außer bei Netzhauterkrankungen wurde das Grünsehen auch bei Erkrankungen des Zentralnervensystems beobachtet, sowohl in Gestalt von Flecken oder Wolken bezw. Skotomen, als auch im ganzen Gesichtsfeld. Auch hier wechselt es zuweilen mit der Gegenfarbe, d. h. mit Rot- bezw. Violettsehen ab (Bregmann 101 u. a.). Genannt seien Neurasthenie, Paralyse, Tabes, Hemikranie, Aura epileptica usw

d) Blau- und Violettsehen
(Kyanopie und Janthinopie).

Das Vorkommen von Blau- bezw. Violettsehen bei frischen Netzhaut- und Aderhauterkrankungen wurde bereits bei dem Grünsehen erwähnt, mit dem es häufig zusammen auftritt und die gleiche diagnostische Bedeutung hat; d. h. bei Klagen über Sehen blauer oder violetter Flecke im Gesichtsfeld soll stets auf frische Augenhintergrundsveränderungen untersucht werden.

Die Farbe wird teils als Blau, teils als Violett, meist als Blauviolett angegeben, mehr oder weniger lebhaft. Es macht sich mit

Vorliebe beim Blicken gegen helle Flächen, Wände, Fenster usw. bemerkbar. Teilweise tritt es nur auf, wenn die Augen vorher kürzere oder längere Zeit geschlossen wurden, um dann nach wenigen Minuten wieder völlig zu erblassen.

Häufig geht es naeh einiger Zeit in Grünlich- bezw. Grüngelbsehen über ,das dann längere Zeit bestehen bleibt. Oft werden beide Farben abwechselnd gesehen (s. S. 213).

Blausehen nach Entfernung der Augenlinse.

Durch die gelbgefärbte Augenlinse besonders älterer Individuen werden die kurzwelligen, besonders blauen Strahlen des gemischten Tageslichtes in hohem Maße absorbiert und daher von der Netzhaut ferngehalten. Das Tageslicht müßte daher eigentlich im Vergleich zu einem Beobachter mit ungefärbter bezw. wenig gefärbter Linse gelb erscheinen, doch bleibt die Gelbfärbung für gewöhnlich unbemerkt infolge der allmählichen Zunahme und der dauernden Gewöhnung. Näheres S. 232.

Wird nun die gelbliche Linse durch Operation entfernt, so treffen die bisher durch die Linse von der Netzhaut ferngehaltenen blauen Lichtstrahlen die lichtempfindliche Schicht ungehindert. Dadurch erhält für den Patienten das Tageslicht scheinbar plötzlich eine ganz andere Zusammensetzung, es ist „blauer". Als Ausdruck finden wir das bekannte „Blausehen" (Schwarz 99, Enslin 102). Bereits unmittelbar nach der Operation oder beim Verbandwechsel erklären die Patienten häufig spontan, daß ihnen alle Gegenstände intensiv blau oder bläulich erscheinen, auch bläulichweiß, „als ob alles frisch weiß angestrichen wäre". Allmählich nimmt das Blausehen an Intensität ab und verschwindet nach längstens einem Monat wieder (Enslin 102), sofern nicht das zweite Auge noch linsenhaltig und sehtüchtig ist, sodaß ein ständiger Vergleich zwischen beiden Augen möglich ist.

Schließlich ist noch bei einer ganzen Reihe von Erkrankungen des Nervensystems, Intoxikationen usw. Blausehen beschrieben worden, ohne daß es für die eine oder andere Krankheit besonders charakteristisch wäre. Von Nervenerkrankungen sind zu nennen Neurasthenie, Tabes, apoplektischer Insult, von Allgemeinerkrankungen Influenza, Intermittens (ein Fall von periodischem Blausehen, das nach Chiningaben regelmäßig verschwand, Baas 97). Von Intoxikationen kommen vor allem in Betracht akute Alkoholintoxikation, Haschisch - Mißbrauch, Pilzvergiftung, Santoninintoxikation (s. Gelbsehen).

Außerdem ist in der Literatur noch berichtet über Blausehen nach Otitis media, bei Glaukom, an welchem bereits die Iridektomie vollzogen war, nach Lichtblendung, Verbrennung durch heißen Dampf, sowie nach galvanokaustischer Behandlung einer Coryza.

F. Störungen im Bereiche der vom Farbensehzentrum ausgehenden Assoziationen.

Alle hierher gehörigen Fälle unterscheiden sich von der eigentlichen Farbenblindheit prinzipiell dadurch, daß das Farbenunterscheidungsvermögen selbst vollkommen ungestört ist, nur muß man bei der Untersuchung die Benennung der Farben vermeiden und sich nur der „Gleichungen" bedienen. Daher eignen sich nicht alle Methoden. Bestehen aphasische oder akustische Störungen, sind z. B. die Nagelschen Tafeln nicht anwendbar; denn da es sich hierbei um Benennungen bezw. um das Heraussuchen benannter Farben handelt, kann der Patient bei ihnen versagen. Die Stillingschen Tafeln werden in derartigen Fällen zweckmäßiger sein, dagegen bei gleichzeitiger Alexie vielleicht wieder nicht entziffert werden können. Kurz, es muß hier von Fall zu Fall entschieden werden, auf welche Weise man den Farbensinn nachweisen will. Ganz brauchbar ist die Farbengleichungslampe. Für gröbere Prüfungen können auch die Holmgreenschen Wollproben benutzt werden. Spektrale Gleichungen sind natürlich stets vorzuziehen.

Zwei Hauptformen können vorläufig unterschieden werden nämlich die amnestische Farbenblindheit und die Alexie für Farben[1]).

a) Die amnestische Farbenblindheit.

Unter amnestischer Farbenblindheit werden zweckmäßig nur solche Störungen zusammengefaßt, bei welchen das Erinnerungs vermögen für Farben in Verlust geraten ist[2]).

---

[1]) Das bis jetzt bekannte Material ist nicht sehr umfangreich weil bei den Untersuchungen häufig gerade auf die Farbenempfindung weniger Wert gelegt wurde. Das ist umso weniger verwunderlich, als meist eine Reihe weiterer Ausfallserscheinungen der Nervenfunktionen vorhanden sind, welche im Vordergrunde des Symptomenbildes stehen.

[2]) Wilbrand versteht unter amnestischer Farbenblindheit auch eine aphasische Störung für Farben (s. nächste Gruppe). Nach v. Monakow ist bei der amn. Farbenblindheit neben der sprachlichen Bezeichnung auch das Gedächtnis für Farben gestört.

Die Patienten unterscheiden, wie bereits gesagt, bei Untersuchung mit Hülfe von farbigen Gleichungen die verschiedenen Farben ebenso prompt wie der Normale, vorausgesetzt, daß nicht gleichzeitig eine erworbene Farbenblindheit etwa infolge Beteiligung der Sehbahnen vorliegt. Sie bestehen z. B. die Prüfung mit der Farbengleichungslampe und mit Wollproben usw. ganz glatt. Dagegen können sie die Farben in ihrem Gedächtnis nicht mehr wiederfinden, z. B. von Gegenständen ihrer Umgebung aus dem Gedächtnisse deren Farbe nicht mehr angeben, obwohl sie ihnen wohl bekannt sein müßte. Man kann dem Patienten einen Gegenstand (z. B. Blumen) nennen (oder ruft ihn auf irgend eine andere Weise in das Gedächtnis zurück) und läßt sich dessen Farbe aus einem Bündel Wollproben oder farbigen Papieren heraussuchen (Benennungen von Farben müssen wiederum vermieden werden, um eventuelle aphasische Störungen ausschließen zu können). Bei der amnestischen Farbenblindheit ist der Patient dann nicht im stande, die Aufgabe zu lösen, wohl aber ist es möglich, daß er sofort die richtige Farbe findet, wenn ihm die betreffende Blume vorgehalten wird.

Als Beispiel soll der Fall Lewandowskys (164) angeführt werden, welcher in mehrfacher Hinsicht äußerst interessant und wegen seines sorgfältigen Untersuchungsbefundes wertvoll ist.

Der 50jährige Patient benannte vorgehaltene farbige Objekte falsch und konnte von ihm genannten Gegenständen deren Farbe nicht angeben. Bis hierher wäre noch nicht viel aus dem Befund zu entnehmen, da es sich sowohl um erworbene Farbenblindheit, wie auch um Sprachstörungen handeln könnte. Die weitere Untersuchung ergab jedoch folgendes: Bei Untersuchung der Farbenempfindung mit spektralen Gleichungen usw. unter Vermeidung von Farbenbenennungen war keine Abweichung vom Normalen vorhanden. Auch die Farben von bekannten Gegenständen, welche man ihm vorzeigte, wurden prompt aus einer Sammlung Wollbündel herausgesucht. Die Farbenempfindung war also nicht gestört.

Nannte man dem Patienten aber Gegenstände wie Gras, Blut, Citrone, so war er nicht mehr im Stande, ihre Farbe herauszusuchen. Ja auch wenn ihm Zeichnungen von Tieren, Blättern usw. vorgehalten wurden, war er über ihre Farbe absolut im Unklaren, erkannte dagegen die Gegenstände selbst stets sofort (abgesehen von einigen leichten Störungen). Auch das Gedächtnis für Farben war nicht wesentlich beeinträchtigt, wenigstens konnte eine vorgezeigte Farbe nach 10 Minuten wieder angegeben werden, natürlich nicht sprachlich, sondern durch Aussuchen.

Es bestand demnach ein reiner Verlust des Erinnerungsvermögens für Farben, um eine Abspaltung von der Erinnerung für die räumlichen Begriffe[1]).

[1]) Dabei war noch besonders interessant, daß sich der Defekt nicht nur auf die bunten Farben erstreckte, sondern auch auf die tonfreien, d. h. auf Schwarz und Weiß, während für „hell und dunkel" die Erinnerungsbilder vorhanden waren, wie sich bei Antworten des Patienten und auch beim Heraussuchen der Farben zeigte.

Nicht gestört waren die Erinnerungsbilder für räumliche Begrenzung der Gegenstände, ferner die Reproduktion gesehener Farben, sowohl bei farbigen Proben, die noch nach 10 Minuten vom Patienten gezeigt werden konnten, wie auch die Farben solcher gesehener Gegenstände, deren Farben in der Erinnerung ausgefallen waren.

Augenscheinlich können auch die Erinnerungsbilder für Farben in Verlust geraten, während die Fähigkeit, diese Farben richtig zu benennen erhalten sein kann.

Als Beispiel sei ein Fall Charkots angeführt (151), welcher wahrscheinlich hierher zu zählen ist. Er war allerdings durch Seelenblindheit und Verlust des räumlichen Erinnerungsvermögens kompliziert. Der intelligente Patient beklagte sich unter anderem zu verschiedenen Malen lebhaft über den Verlust des Farben-Erinnerungsvermögens. „Meine Frau", sagte er, „hat schwarze Haare, ich bin mir dessen ganz sicher bewußt, ich kann aber in meinem Gedächtnisse diese Farben ebenso wenig wiederfinden, wie ich mir eine Vorstellung von ihrer Person und ihren Zügen machen kann".

In der Mehrzahl der Fälle ist das optische Erinnerungsvermögen nicht nur für Farben, sondern in größerer Ausdehnung verloren gegangen. Außerdem ist die Störung oft Begleiterscheinung der Seelenblindheit, deren Wesen bekanntlich darin besteht, daß Gegenstände zwar gesehen, aber nicht begrifflich erfaßt werden (nicht mehr mit dem Gehirn gesehen werden) (Wilbrand 153).

Der Verlust des Erinnerungsvermögens ist übrigens kein notwendiger Bestandteil der Seelenblindheit, vielmehr kann er bei ihr erhalten bleiben.

Als weitere Komplikationen bestehen häufig Aphasie, auch Alexie für Farben (so auch in Lewandowskys Fall), ferner Gesichtsfeldstörungen im Sinne einer Hemianopsie. Jedenfalls liegen die Verhältnisse oft recht kompliziert und vielleicht verbergen sich unter der amnestischen Farbenblindheit noch eine Reihe verschiedener Störungen der Gehirntätigkeit.

Dementsprechend läßt sich auch über die Lokalisation der amnestischen Farbenblindheit innerhalb des Gehirns zur Zeit wenig sagen, da Sektionen reiner Fälle kaum bekannt sind. Wahrscheinlich liegen wie bei der Seelenblindheit die Herderkrankungen im rechten oder linken Occipitallappen oder dessen unmittelbarer Nachbarschaft; vielleicht kommt vorwiegend die Konvexität des Lappens in Frage, während der Cuneus nur eine geringe Rolle zu spielen scheint. Will man mit Wilbrand (162) hier ein besonderes optisches Erinnerungsfeld in der Nachbarschaft des Wahrnehmungszentrums annehmen, so würde es sich um eine Läsion dieses Rindenbezirkes handeln.

Im Gegensatz hierzu stehen gewisse Formen kortikaler progressiver Rotgrünblindheit, bei welchen die Beziehungen zum Lichtsinn andere sind, und der Schwarzweißsinn ungestört bleibt.

b) Die Alexie für Farben.

(Amnestische Farbenblindheit nach Wilbrand, Motorische Alexie für Farben nach Gelpke[1]).

Die Alexie für Farben gehört im Gegensatz zu der eben besprochenen Form zum aphasischen Symptomenkomplex. Sie entspricht der gewöhnlichen Alexie; ebenso wie bei dieser die dem Auge vorgehaltenen Worte trotz erhaltenem Sehvermögen nicht gelesen werden können, ist bei der Alexie für Farben der Patient nicht im stande vorgehaltene Farben richtig zu benennen, obwohl der Farbensinn selbst vollkommen intakt zu sein pflegt.

Ebenso wie die amnestische Farbenblindheit in der Regel von weiteren Störungen des Erinnerungsvermögens begleitet ist, ist die Alexie für Farben meist noch mit weiteren aphasischen Störungen vergesellschaftet. Sie verhält sich ähnlich zur amnestischen Farbenblindheit, wie die optische Aphasie zur Seelenblindheit mit Verlust der Erinnerungsbilder, jedenfalls stellen beide zwei ganz verschiedene Störungen dar (vergl. auch Oppenheim 161).

Wiederum kann das Farbenunterscheidungsvermögen des Patienten vollkommen normal sein, wenn man mit pseudoisochromatischen Gleichungen oder mit Wahlproben untersucht und Benennungen vermeidet. Dagegen ist der Betreffende außer Stande, die optischen Eindrücke mit dem Sprachzentrum zu verbinden. Infolgedessen benennt er vorgehaltene Farbenobjekte entweder falsch, nennt z. B. Rot „grün" usw., bezeichnet auch wohl alle Farben mit ein und demselben Farbennamen oder wendet schließlich unverständliche Wortbildungen an, wie es bei Aphasie ja häufig der Fall ist.

Die Alexie für Farben kann vollkommen oder partiell sein, sodaß auf diese Weise eine totale oder partielle echte Farbenblindheit vorgetäuscht werden kann. So benannte ein Patient Wilbrands blaue Farben stets richtig, die anderen dagegen falsch, sodaß man an erworbene Blaugelbblindheit erinnert werden könnte.

Es ist sehr fraglich, ob die Störung für sich allein vorkommt. Fast immer ist sie mit anderen aphasischen Störungen verknüpft, besonders mit der Alexie (vergl. auch Fall Lewandowsky 161).

Von optischen Komplikationen findet sich fast regelmäßig eine Hemianopsie, vollständig oder nur relativ d. h. also nur für Farben (progressive Rotgrünblindheit) und zwar

---

[1]) Zitiert nach Wilbrand und Sänger.

eine rechtsseitige (2 Fälle von Wilbrand, Adler 154, Gelpke 159, ferner von Risley 160 und Pauly 158). Die rechtsseitige Hemianopsie entspricht der Lage des Sprachzentrums in der linken Hirnhemisphäre bei Rechtshändern, und wir müssen ja annehmen, daß die Alexie für Farben eine Erkrankung darstellt entweder derjenigen Hirnregion, wo die Farbenempfindungen in die Sprache umgesetzt werden, oder eine Läsion der Assoziationsbahnen, welche Farbensinnzentrum und Sprachzentrum miteinander verbinden (Wilbrand 162).

Ohne Hemianopsie, aber mit Hemmung aller peripheren Gesichtseindrücke ging die Störung im Falle Bielschowskis (163) einher.

Ferner kann gleichzeitig noch eine Seelenblindheit beobachtet werden (z. B. Bielschowski) oder auch eine amnestische Farbenblindheit. Hierher sind wahrscheinlich die Fälle von Adler und Lewandowsky zu rechnen.

Der Patient Adlers, ein Maler, konnte z. B. nicht mehr die Farbe mischen, welche er früher zum Anstreichen benutzte, sie war in seinem Gedächtnis verloren gegangen.

Anhang.

Die Farbenscheu.

(Chromatophobie.)

Das Wesen der Farbenscheu besteht darin, daß mit der Empfindung bestimmter Farben z. B. rot ein auffallendes Unlustgefühl verbunden ist. Es kommt dabei lediglich auf die Qualität der betreffenden Farbe an, nicht auf deren Helligkeit. Die Farbenscheu, auch wenn sie für Weiß besteht, ist nicht mit der Blendung oder der Nyktalopie identisch.

Das hervorgerufene Unlustgefühl kann sich dahin äußern, daß die — meist nervösen — Personen in Aufregung geraten, ja selbst Schwindel, Übelkeit und Kopfschmerzen bekommen. Die betreffenden Farben, welche diese Folgeerscheinungen auslösen, werden daher auch möglichst aus der Umgebung verbannt, z.B. nicht zur Kleidung verwendet usw.

Die Zahl der beobachteten Fälle wird wohl die der publizierten übersteigen. Bei der Mehrzahl der in der Literatur mitgeteilten Fälle handelt es sich um nervöse Individuen, bei denen die Farbenscheu seit frühester Kindheit bestand, also wahrscheinlich nicht erworben war. (Literatur bei Hilbert 167) und Wilbrand 168).

Außerdem wurde das Auftreten von Farbenscheu einige Male bei Sehnervenerkrankungen beobachtet, so 2 Fälle von Blauscheu bei tabischer Sehnervenatrophie (Schröter, Wilbrand und Sänger). Andeutung von „Rotscheu“ sah ich bei einer Neuritis nervi optici, verbunden mit unvollkommener erworbener Rotgrünblindheit, sowie Weißscheu bei einer länger bestehenden Neuritis nervi optici luetica, die mit ausgesprochener erworbener Rotgrünblindheit einherging.

Im ersteren Falle riefen größere rote Gegenstände z. B. rote Kindermäntel ein lebhaftes Unlustgefühl hervor und zwar erst seit einiger Zeit. Im zweiten Falle bezeichnete der Patient auch wenig beleuchtete weiße Gegenstände als ihm äußerst unangenehm. So stand ich z. B. in einem nur schlecht erhellten Raume vom Fenster abgewandt, trotzdem rief mein weißer Mantel starkes Unlustgefühl hervor.

Eine Erklärung für die Farbenscheu zu geben ist zur Zeit noch sehr schwierig, auch ist es fraglich, ob sie überhaupt in einheitlicher Weise erklärt werden kann.

Hilbert (167) betrachtet sie als den Ausfluß eines bestimmten Reizungszustandes des Zentralorgans. Für die erworbene Farbenscheu möchte ich mich seiner Ansicht anschließen, obwohl wir damit dem Verständnis noch nicht viel näher gekommen sind. v. Hasner (165) sah die Farbenscheu speziell als einen Zweig der retinalen Photophobie an. Wilbrand und Sänger (168) fassen die Erscheinung, wenn angeboren, lediglich als Idiosynkrasie auf, analog dem Widerwillen mancher Menschen gegen bestimmte Geräusche u. a.

Verzeichnis einschlägiger Arbeiten.

A. Allgemeines über erworbene Störungen des Farbensinnes.

1. Nagel, Über typische und atypische Farbensinnstörungen. Zeitschrift f. Sinnesphysiologie. 1908. 43. S. 299.
2. Feilchenfeld, Über die spezielle Energie des Sehnerven. Arch. f. Augenheilk. LXVII. S. 45. 1910.
3. Hess, Löst Sehnervendurchschneidung Lichtwahrnehmung aus? Arch. f. Augenheilk. LXVII. S. 53. 1910.
4. Hilbert, Über den Zusammenhang der physiologischen mit den pathologischen Farbenempfindungen. Klin. Monatsblätter f. Augenh. 49 (I). S. 270. 1911.
5. Köllner, Über das Grenzgebiet zwischen normalem Farbensinn und Farbenschwäche. 37. Versammlung der ophthalmolog. Gesellschaft zu Heidelberg. 1911.

B. Erworbene Blau-Gelb-Blindheit.

6. Leber, Graefe-Saemisch, Handb. d. ges. Augenheilk. 1. Aufl. 1876.
7. Stilling, Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen. Außerordentliches Beilageheft zu den klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XIV. 1876.
8. Cohn, Farbensinn und Lichtsinn bei Netzhautablösung und bei Wiederanlegung nach Drainage. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. 1877. I. p. 145.

9. Magnus, Beiträge zur Kenntnis der physiologischen Farbenblindheit. Graefes Arch. f. Ophthalm. 1878. XXIV. 4. p. 171.
10. Cohn, Über angeborene und erworbene Blau-Gelb-Blindheit. Bresl. ärztl. Zeitschr. 1879. 1. Jahrg. 1. Hälfte.
11. Treitel, Über Gesichtsfeldmessungen mit Pigmenten. Arch. f. Ophth. 1879. XXV. 3. p. 24.
12. Mauthner, Über farbige Schatten, Farbenproben und erworbene Erythrochloropie. Wiener med. Wochenschr. 1881. No. 38 u. 39, und Vorträge, Bd. II, Die Lehre vom Glaukom. S. 189.
13. Bayer, Über erworbene Farbenblindheit. Prager med. Wochenschr. 1882. VII. No. 4.
14. Bull, Bemerkungen über den Farbensinn unter verschiedenen physiologischen und pathologischen Verhältnissen. Graefes Arch. f. Ophth. 1883. XXIX. 3. p. 71.
15. Cohn, Studien über angeborene Farbenblindheit. Breslau 1885.
16. König, Über einen Fall pathologisch entstandener Violettblindheit. Verhandl. d. physik. Gesellsch. zu Berlin. 1885. und Gesammelte Abhandlungen d. physiol. Optik. 1903. S. 46.
17. Treitel, Über das positive zentrale Skotom und über die Ursache der Sehstörung bei Erkrankungen der Netzhaut. 1885.
18. Dimmer, Beiträge zur Pathologie der Netzhautabhebung. Wiener med. Presse. 1886. XXVII. No. 45 u. 46.
19. Schmidt-Rimpler, Lehrbuch der Augenheilkunde und Ophthalmoskopie. 1888.
20. Knies, Über die Beziehungen des Sehorgans und seiner Erkrankungen zu den übrigen Krankheiten des Körpers und seiner Organe. Wiesbaden 1893.
21. Simon, Über typische Violettblindheit bei Retinitis albuminurica. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. 1894. S. 132.
22. Hering, Über einen Fall von Gelbblau-Blindheit. Arch. f. d. ges. Phys. 1894. LVII.
23. v. Helmholtz, Physiologische Optik. 1896.
24. König, Über Blaublindheit. Sitzungsbericht der Kgl. Akademie der Wissenschaften, Berlin. 8. Juli 1897 und Ges. Abhandlungen zur physiol. Optik. 1903. S. 396.
25. Knies, Über eine häufige, bisher nicht beobachtete Form von angeborener Violettblindheit und von Farbenanomalien überhaupt. Arch. f. Augenheilk. 1898. XXXVII. S. 234.
26. Knies, Das Chromoskop usw. ebnda S. 225.
27. Gerhardt, Blaublindheit bei Schrumpfniere. Münch. med. Wochenschr. 1900. S. 1.
28. Hilbert, Über das subjektive Sehen farbiger Flecke im Gesichtsfeld als pathologische und physiologische Farbenerscheinung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1905. 43. (I.) p. 751.
29. Simon, Über die diagnostische Verwertung der erworbenen Violettblindheit. Beitr. z. Augenheilk. (Festschrift für Julius Hirschberg.) 1905.
30. v. Kries, Die Gesichtsempfindungen. Bd. III d. Handb. d. Phys. des Menschen v. Nagel 1905.
31. Collin und Nagel, Erworbene Tritanopie (Violettblindheit). Zeitschr. f. Sinnesphys. 1906. Bd. 41. p. 74.

32. L e v y, Über einen Fall von angeborener beiderseitiger Tritanopie (Blaublindheit). Arch. f. Ophth. 1906. LXII. p. 464.
33. K ö l l n e r, Untersuchungen über die Farbenstörung bei Netzhautablösung Zeitschr. f. Augenheilk. 1907. XVII. p. 234.
34. D e r s e l b e, Erworbene Violettblindheit (Tritanopie) und ihr Verhalten gegenüber spektralen Mischungsgleichungen (Rayleigh-Gleichung). Zeitschr. f. Sinnesphys. 1907. Bd. 42. p. 281.
35. D e r s e l b e, Die klinische Diagnose der erworbenen Violettblindheit. Berl. ophth. Ges. 19. Dezember 1907.
36. V o s s i u s, Lehrbuch der Augenheilkunde. 1907.
37. K ö l l n e r, Monochromatisches Farbensystem als Reduktionsform angeborener Dichromasie. Zeitschr. f. Sinnesphys. 1908. Bd. 43. S. 163.
38. H i l b e r t, Über Störungen des Farbensehens infolge interner Erkrankungen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1908. 46 (I). p. 256.
39. K r ü c k m a n n, Über Netzhautdegeneration, insbesondere im Anschl. an Arteriosklerose. 33. Vers. d. ophth. Gesellschaft in Heidelberg. 1907.
40. K ö l l n e r, Die erworbene Violettblindheit vom klinischen und physiologischen Gesichtspunkte. Zeitschr. f. Augenheilk. 1907. XIX. Ergänzungsheft S. 1.
41. H e s s, Untersuchungen über Hemeralopie. Arch. f. Augenheilk. LXII. S.50.
42. K r i e n e s, Über erworbene Blaublindheit. (80. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte, Köln). Zeitschr. f. Augenh. 1908. XX. S. 392.
43. S t a r g a r d t, Die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei Dunkeladaptation mit besonderer Berücksichtigung der Solutio retinae. Klin. Monatsbl. f. Augenh. 44 (II). S. 353.
44. K ö l l n e r, Über die Beziehungen zwischen Dunkeladaptation und Violettblindheit. Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 330. 1910.

C. Erworbene Rotgrünblindheit.

45. B e n e d i k t, Der Daltonismus bei Sehnervenatrophie. Arch. f. Ophth. X. 2. S. 185. 1864.
46. S c h e l s k e, Zur Farbenempfindung. Arch. f. Ophth. XI. 1, S. 171. 1865.
47. G a l e z e w s k i, Au diagnostic des maladies des yeux par la chromatoscopie retinienne. Paris. 1868.
48. L e b e r, Über das Vorkommen von Anomalien des Farbensinnes bei Krankheiten des Auges, nebst Bemerkungen über einige Formen von Amblyopie. Arch. f. Ophth. XV. 3. S. 26. 1869.
49. D e r b y, Colourblindness and its acquisition through the abuse of alcohol and tobacco. N. Y. medical Journal. March. 1871.
50. B r i e s e w i t z, Über das Farbensehen bei normalem und atrophischem Nervus opticus. Diss. Greifswald. 1872.
51. D o r, Über Farbenblindheit. Bernische Naturforscherges. 20. Juli. 1872.
52. S c h i r m e r, Über erworbene und angeborene Anomalien der Farbenempfindung. Berlin. klinische Wochenschrift No. 5. 1873.
53. S c h i r m e r, Über erworbene und angeborene Anomalien des Farbensinnes. Arch. f. Ophth. XIX., 2. S. 194.
54. S c h ö n, Zur Farbenempfindung. Berliner klin. Wochenschr. No. 29 u. 30. 1874.
54a. —, Die Lehre vom Gesichtsfelde. Berlin, Hirschwald 1874.
55. R ä h l m a n n, Über den Farbensinn bei Sehnervenerkrankungen. Arch. f. Ophth. XXI, 2. S. 27.

56. Treitel, Über das Verhalten der peripheren und zentralen Farbenperception bei Atrophia nervi optici. Diss. Königsberg. 1875.
57. Stilling, Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen. Außerordentl. Beilageheft zu den klinisch. Monatsbl. f. Augenheilkunde. XIII.
58. Nuel, l'Amblyopie alcoolique et le Daltonisme. Bull. de l'Acad. royale de medicine de Belgique. T. XII. 1878.
59. Ole Bull, Bemerkungen über den Farbensinn unter verschiedenen physiologischen und pathologischen Verhältnissen. Arch. f. Ophth. XXIX. 3. p. 71. 1883.
60. Knies, Über Farbenempfindung und Farbenstörungen. Arch. f. Augenheilkunde. XVII. p. 397. 1887.
61. Knies, Über Farbensinnsstörungen bei Sehnervenleiden. Heidelberger ophthalm. Gesellschaft. 1889.
62. Hess, Über den Farbensinn im indirekten Sehen. Arch. f. Ophth. XXX. 4. S. 1.
63. Hess, Untersuehungen eines Falles halbseitiger Farbensinnstörung am linken Auge. Graefes Arch. f. Ophth. XXXVI. 3. S. 24.
64. Hering, Die Untersuchung einseitiger Störungen des Farbensinnes mittels monokularer Gleichungen. Ebd. S. 1.
65. Knies, Über eine häufige, bisher nicht beachtete Form von angeborener Violettblindheit und über Farbenanomalien überhaupt. Archiv f. Augenheilkunde. XXXVII. p. 234. 1898.
66. Knies, Das Chromoskop, ein bequemes Instrument zur Untersuchung des Farbenvermögens der Macula lutea und deren Anomalien. Archiv f. Augenhlk. XXXVII. p. 225.
67. Nagel, Einige Betrachtungen über die Farbensinnstörung im Netzhautzentrum bei retrobulbärer Neuritis. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 43. (I.) S. 742. 1905.
68. Wilbrand und Saenger, Die Neurologie des Auges. Bd. III. 1906.
69. Guttmann, Ein Fall von Grünblindheit (Deuteranopie) mit ungewöhnlichen Komplikationen. Zeitschr. f. Sinnesphysiologie. Bd. 41 S. 45.
70. Haenel und Best, Rotgrünblindheit durch Schneeblendung. Zeitschr. f. Natur- und Heilkunde. Dresden. 1907.
71. Köllner, Die Beziehungen zwischen der Störung des Farbensinnes und der Sehschärfe bei Sehnervenerkrankungen. Berlin, ophthalm. Gesellschaft. Juli 1908.
72. Hilbert, Über Störungen des Farbensinnes im Gefolge interner Erkrankungen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 46 (I.) S. 256.
73. Birch-Hirschfeld, Weiterer Beitrag zur Kenntnis der Schädigungen des Auges durch ultraviolettes Licht. Zeitschr. f. Augenheilk. Bd. XX. S. 1.
74. Köllner, Unvollkommene Farbenblindheit bei Sehnervenerkrankung. Zeitschr. f. Sinnesphysiologie. Bd. 42. S. 15.
75. v. Malzew, Catharina, Über individuelle Verschiedenheit der Helligkeitsverteilung im Spektrum. Zeitschr. f. Sinnesphysiologie. Bd. 43. S. 76.
76. Köllner, Die erworbene Rotgrünblindheit als dichromatisches Farbensystem. Zeitschr. f. Augenheilk. XXII. S. 193 u. 336.
77. Köllner, Über die Unterscheidung der erworbenen Rotgrünblindheit von der angeborenen Protanopie und Deuteranopie. Zeitschr. f. Augenheilk. XXIII. S. 97.

78. Köllner, Zur Entstehung der erworbenen Rotgrünblindheit. Zeitschr. f. Sinnesphysiologie. Bd. 44. S. 269.
79. Behr, Der Reflexcharakter der Adaptationsvorgänge, insbesondere der Dunkeladaptation usw. Graefes Archiv f. Ophth. LXXV. S. 201.

D. Erworbene totale Farbenblindheit.

80. Steffan, Beitrag zur Pathologie des Farbensinnes. Arch. f. Ophthalm. XXVII. (2) S. 1. 1881.
81. Posada-Armigo, Dyschromatopsie traumatique. Rec. d'Ophth. No. 8. 1884.
82. Schöler und Uhthoff, Beiträge zur Pathologie des Sehnerven und der Netzhaut bei Allgemeinerkrankungen. Berlin 1884. S. 69—74.
83. Siemerling, Arch. f. Psych. 1889. Bd. 21. S. 284.
84. König, Helligkeitswert der Spektralfarben bei verschiedener absoluter Intensität. Beiträge zur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane. (70. Geburtstag von v. Helmholtz.) 1891 und Gesammelte Abhandlungen zur physiologischen Optik. 1903. S. 14.
85. Pergens, Erworbene Achromatopsie mit voller Sehschärfe. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1902. Bd. 40, (II). S. 26.
86. Hering, Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. Graefe-Saemisch, Handbuch d. ges. Aughkde. 1905. 2. Aufl.
87. Piper, Beobachtungen an einem Fall von totaler Farbenblindheit des Netzhautzentrums in einem und Violettblindheit des anderen Auges. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. der Sinnesorgane. 1905. No. 38. S. 153.
88. Lewandowsky, Über Abspaltung des Farbensinnes durch Herderkrankung des Gehirns. Sitzungsberichte der Berl. med. Gesellsch. 1907.
89. Köllner, Monochromatisches Farbensystem als Reduktionsform angeborener Dichromasie. Zeitschr. f. Sinnesphysiologie. Bd. 43. S. 163.
90. Hilbert, Über Störungen des Farbensehens infolge interner Erkrankungen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1908. 46 (I). p. 256.
91. Köllner, Erworbene totale Farbenblindheit mit Bericht über einen Fall. Zeitschr. f. Augenheilk. 1909. XXI. S. 193 u. S. 309.

E. Chromatopie.

Eine so gut wie vollständige Übersicht über die Kasuistik findet man in folgenden Arbeiten Hilberts zusammengestellt:

92. Hilbert, Die Pathologie des Farbensinnes. Vossius' Sammlung zwangl. Abhandl. II. Heft 1. 1897.
93. — Über subjektive pathologische Farbenempfindungen infolge von Vergiftungen. Klin. Monatsbl. f. Aug. 45 (I). S. 518. 1907.
94. — Über Störungen des Farbensinnes im Gefolge interner Erkrankungen. Klin. Monatsbl. f. Aug. 46 (I). S. 256. 1908.
95. — Über pathologische Farbenempfindungen infolge von chirurgischen Erkrankungen. Ebd. 47 (II). S. 220. 1909.

---

96. Filehne, Über den Entstehungsort des Lichtstaubes usw. Graefes Arch. f. Ophth. XXXI (2). S. 1. 1885.
97. Baas, Periodisches Blausehen als einz. Erscheinung eines larv. Wechselfiebers. Klin. Monatsbl. f. Aug. 1885. S. 240.
98. Chalupecky, Über Farbensehen oder Chromatopie. Wiener klinische Rundschau. 1901. No. 29.

99. Schwarz, Encyclopädie der Augenheilkunde. 1902.
100. Alter, Monochromatopsie und Farbenblindheit. Neurolog. Centralblatt S. 290. 1903.
101. Bregmann, Über Grün- und Violettsehen bei Tabes dorsalis. Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilk. 26. 1904.
102. Enslin, Über Blausehen nach Starausziehung. Zeitschrift f. Augenheilkunde. XV. S. 136. 1906.
103. Yamaguchi, Ein Fall von Xanthopsie bei Schwangerschaftsnephritis. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 47 (II), S. 160. 1909.
104. Hilbert, Zur Kenntnis der pathologischen Farbenempfindungen. Zentralbl. f. Augenheilk. 34. S. 33. 1910.

Blendungserythropie.

Die ältere Literatur ist zusammengestellt bei:
105. Fuchs, Über Erythropsie. Graefes Archiv. XLII, 4. S. 207. 1896.
106. Hilbert, Die Pathologie des Farbensinnes, Sammlung zwangloser Abhandl. a. d. Gebiete der Augenheilk. II. Heft 1. 1897.

---

107. Valude, l'Erythropie. Arch. d'Ophtalm. VIII. p. 130.
108. Hirschler, Zum Rotsehen bei Aphakischen. Wiener med. Wochenschrift. 1883. No. 4, 5, u. 6.
109. Dimmer, Zur Erythropie Aphakischer. Wiener med. Wochenschrift. 1883. No. 15.
110. van Duyse, Deux cas d'érythropie. Revue generale d'Opht. IV. S. 197. 1885.
111. Scili, Einige Bemerkungen zur Erythropiefrage. Klin. Monatsbl. f. Augenh. 1886. S. 259.
112. Kubli, Vier Fälle von Erythropie. Westnik. ophthalm. Mai 1887.
113. Purtscher, Neue Beiträge zur Frage der Erythropie. Arch. f. Augenh. XVII. 1887. S. 260.
114. Simi, Erythropsie. Bolletino d'oculistica di Simi. XI. No. 5. 1889.
115. Schmidt-Rimpler, Augenheilkunde und Ophthalmoskopie. Berlin 1891. S. 375.
116. Hilbert, Erythropsie, 10 Minuten dauernd infolge starker Erregung des Nervensystems. Memorabilien. 1894. Heft III.
117. Osswald, Über Lichtsinnstörungen und Erythropie bei operierten Myopen. Deutschmanns Beiträge. Heft 45. S. 54. 1900.
118. Birch-Hirschfeld, Die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf das Auge. Graefes Archiv. LVIII. S. 469. 1904.
119. — Weiterer Beitrag zur Kenntnis der Schädigung des Auges durch ultraviolettes Licht. Zeitschr. f. Augenh. XX. S. 1. 1908.
120. v. Reuß, Beiträge zur Kenntnis der Erythropie. Arch. f. Aug. LXII. S. 113. 1908.
121. Vogt, Ursache und Wesen der Erythropie, Bericht der 35. Versammlung der Heidelberger ophthalm. Gesellschaft. 1908. S. 185.
122. — Beitrag zu der Frage der Entstehung der Blendungserythropie Arch. f. Augenheilk. LX. S. 91. 1908.
123. Schanz und Stockhausen, Wie schützen wir unsere Augen vor der Einwirkung der ultravioletten Strahlen unserer künstlichen Lichtquellen. Graefes Arch. LXIX. S. 49. 1908.

124. Birch-Hirschfeld, Zur Beurteilung der Schädigungen des Auges durch leuchtende und ultraviolette Strahlen. Klin. Monatsbl. f. Aug. 47. (II). S. 26. 1909.
125. Best, Über die praktische Tragweite der Schädigungen des Auges durch leuchtende und ultraviolette Strahlen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 47 (I). S. 520. 1909.
126. — Über die Schädigung des Auges durch ultraviolette und Lichtstrahlen. Klin. Monatsbl. f. Aug. 48 (I). S. 341. 1910.

Gelbsehen bei Santoninvergiftung.

Literaturzusammenstellung bei:

127. Hilbert, Über subjektive pathologische Farbenempfindung infolge von Vergiftungen. Klin. Monatsbl. f. Augenh. XLV. Bd. 1. S. 518.
128. Lewin-Guillery, Die Wirkungen von Arzneimitteln und Giften auf das Auge. Berlin. 1905. 2 Bände.

129. Rose, Über die Farbenblindheit nach dem Genuß der Santoninsäure. Virchows Archiv XIX. S. 522 u. XX. S. 245. 1860.
130. Schultze, Über den gelben Fleck der Retina, seinen Einfluß auf normales Sehen und auf Farbenblindheit. Bonn 1866.
131. Hüfner, Versuch einer Erklärung der im Santoninrausch beobachteten Erscheinungen usw. Graefes Archiv f. Ophth. XIII. S. 309. 1867.
132. Preyer, Über normale Farbenempfindungen und die physiolog. Grundfarben. Pflügers Archiv. I. S. 299. 1864.
133. Giovanni, Effets de coloration de la santonine. Journal de clinic medic. p. 373. 1868.
134. Schön, Die Lehre vom Gesichtsfelde. Berlin, Hirschwald. 1874.
135. Hilbert, Über Xanthopsie, verursacht durch Pikrinsäure, Centralblatt f. prakt. Augenheilk. 1885. S. 70.
136. König, Über den Einfluß von santoninsaurem Natron auf ein normales trichromatisches Farbensystem. Zentralbl. f. Augenheilk. 1888. S. 353.
137. Knies, Über die Farbenstörung durch Santonin bei normalem und anormalem Farbenvermögen. Archiv f. Augenh. XXXVII. S. 252. 1898.
138. Kunkel, Handbuch der Toxikologie. Jena 1899. S. 939.
139. Rählmann, Über relativen und absoluten Mangel des Farbensinnes. Zeitschr. f. Augenheilk. II. S. 315 u. 403. 1899.
140. Filehne, Üder die Einwirkung des Santonins und des Amylnitrits auf den Sehakt. Archiv f. d. gesamte Physiologie. 80. S. 96. 1901.
141. Nagel, Über die Wirkung des Santonins auf den Farbensinn, insbes. auf den dichromatischen Farbensinn. Zeitschr. f. Psychologie u. Physiologie d. Sinne. Bd. 27. S. 267. 1901.
142. Sivén, Über die physiologische Bedeutung des Sehpurpurs. Skandinav. Arch. f. Physiologie. 14. S. 196.
143. Vaughan, Einige Beobachtungen über die Wirkung von Santonin auf die Farbenempfindungen. Zeitschr. f. Sinnesphysiologie. Bd. 41. S. 399. 1907.
144. Sivén, Einige Bemerkungen über die Wirkung von Santonin auf die Farbenempfindungen. Zeitschrift f. Sinnesphysiologie. 42. S. 224. 1908.
145. Nagel, Erwiderung an Herrn Sivén betreffs Santoninwirkung im Auge. Ebd. S. 297. 1908.

Gelbsehen bei Ikterus.

146. Rose, Die Gesichtstäuschungen im Ikterus. Virchows Archiv. Bd. XXX. S. 442. 1864.
147. Hirschberg, Menstruelles Gelbsehen. Berliner klin. Wochenschr. 1872. S. 579.
148. Hirschberg, Über Gelbsehen und Nachtblindheit d. Ikterischen. Berl. klin. Wochenschr. 1885. No. 23.
149. Hennig, Über Gelbsehen, Nacht- und Tagblindheit bei Ikterischen. Intern. klin. Rundschau. 1891. No. 11—12.
150. Sivén, Xanthopsie bei Ikterus. Skand. Arch. f. Physiologie. XIX. 1907.

F. Amnestische Farbenblindheit und Alexie für Farben.

151. Charcot, Un cas de suppression brusque et isolée de la vision mentale des signes et des objets (formes et couleurs). Le Progrès médicale Juilles 1883.
152. Wilbrand, Ophthalmiatrische Beiträge zur Diagnostik der Gehirnkrankheiten. Wiesbaden, Bergmann 1884.
153. — Die Seelenblindheit als Herderscheinung usw. Wiesbaden, Bergmann 1887.
154. Adler, Ein Fall subkortikaler Alexie. Berliner klin. Wochenschrift. 1890. No. 16.
155. Lissauer, Ein Fall von Seelenblindheit nebst einem Beitrage zur Theorie derselben. Archiv f. Psychiatrie. Bd. 21. Heft 1.
156. Groenouw, Über doppelseitige Hemianopsie zentralen Ursprungs. Archiv f. Psychiatrie. Bd. 23. S. 339. 1892.
157. Müller, Ein Beitrag zur Kenntnis der Seelenblindheit. Arch. f. Psychiatrie. Bd. 24. S. 856. 1892.
158. Pauly, Une variété de cécité psychique. Annal. d'Okulist. T. CXX. p. 229. 1898.
159. Gelpke, Zur Kasuistik der einseitigen homonymen Hemianopsie kortikalen Ursprungs mit eigenartigen Störungen in den sehenden Gesichtsfeldhälften. Archiv f. Augenheilk. XXXIX. S. 116. 1899.
160. Risley, Americ. Journal of Ophthalm. 1901. S. 44.
161. Oppenheim, Lehrbuch der Nervenkrankheiten. 1905. S. 725.
162. Wilbrand und Sänger, Die Neurologie des Auges. III. S. 636. 1906.
163. Bielschowski, Über ungewöhnliche Erscheinungen bei Seelenblindheit. Bericht über die 35. Versammlung der Heidelb. ophthalm. Gesellschaft. 1908.
164. Lewandowsky, Über Abspaltung des Farbensinnes. Monatsschrift f. Psychiatrie und Neurologie. Bd. 23. S. 488. 1908.

Farbenscheu.

165. v. Hasner, Über Farbenscheu. Zentralblatt f. prakt. Augenheilk. 1881. S. 1.
166. Schröter, Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. 1881. S. 61.
167. Hilbert, Die Pathologie des Farbensinnes, Vossius' Sammlung zwangloser Abhandlungen. II. Heft 1. 1897.
168. Wilbrand und Sänger, Die Neurologie des Auges. Bd. III. S. 426. 1904.

(Bei den beiden letzteren vollständige Literatur.)

II. Spezielle Pathologie des Farbensinnes.

A. Veränderungen im dioptrischen Apparat.

Refraktionsanomalien.

Dadurch, daß das Netzhautbild infolge Refraktionsstörungen unscharf wird, können niemals typische Farbensinnstörungen entstehen, wie etwa Rotgrün- oder Blaugelbblindheit.

Wohl aber kann zuweilen das Ergebnis der Farbensinnprüfung erheblich beeinträchtigt werden, einmal dadurch, daß die räumliche Trennung zweier farbiger Vergleichsfelder wesentlich erschwert wird. Das gilt für Untersuchungen an Farbengleichungsapparaten, z. B. an der Farbengleichungslampe (S. 80). Daher muß für derartige Prüfungen der Refraktionsfehler wenigstens soweit ausgeglichen werden, daß die räumliche Unterscheidung der beiden Farbenfelder mühelos gelingt.

Läßt man farbige Objekte benennen, also bei Bestimmung farbiger Schwellenwerte, so kann besonders bei Verwendung kleiner und ungesättigter Farbenquadrate Unsicherheit auftreten und es werden auch wohl einzelne Farbentöne miteinander verwechselt, z. B. Grün und Blau. Bei Untersuchung auf Blaublindheit (s. S. 240) am Perimeter muß hierauf geachtet werden.

Auf die Schärfe der Einstellung der Rayleighgleichung haben Hypermetropie, Myopie und Astigmatismus, sofern es sich nicht um sehr hohe Grade handelt, keinen nennenswerten Einfluß. Jedenfalls kann er bei klinischen Untersuchungen vernachlässigt werden (Köllner 10).

Wolffberg (4) hatte 1886 eine Methode angegeben, den „Farbenlichtsinn" quantitativ zu prüfen und das Ergebnis zur Beurteilung der Refraktion des Beobachters zu verwerten. Dem zu Prüfenden wurden bei guter Tagesbeleuchtung rote und blaue Quadrate von Marxschem Tuch auf dunklem Grunde vorgehalten und die Entfernung bestimmt, in welcher sie noch erkannt wurden.

Dabei wurde aber nicht die spezifische Schwelle bestimmt, d. h. der Moment, in welchem das farbige Quadrat in seiner Farbe gesehen wurde, sondern die absolute Schwelle, also wenn es sich als heller Fleck vom Grunde abhob. Es handelt sich also nicht um eine Farbensinnprüfung, sondern mehr um eine Bestimmung des Lichtsinnes, sodaß eine eingehendere Besprechung der Methode nicht in den Rahmen dieser Schrift gehört (vergl. auch Böhm 5 und Seggel 6).

Bei der **Myopie** sind außerdem mehrfach Farbensinnanomalien mitgeteilt worden, fast durchgängig von dem Gesichtspunkte aus, daß eine chronische Ernährungsstörung für die perzipierenden Elemente des Sehorganes besteht, die zu einer gewissen Unterwertigkeit bei deren Funktion führt.

So können die peripheren Gesichtsfeldgrenzen für farbige Objekte etwas eingeengt sein, besonders für Blau.

Dies scheint mit einer gewissen Herabsetzung des Lichtsinnes in Zusammenhang zu stehen, die man bei der Myopie mehrfach beobachtet zu haben glaubte. Auf die Aussprache, die sich gerade hierüber in der letzten Zeit wieder in der Literatur vollzogen hat, kann hier nicht näher eingegangen werden (näheres und Literatur s. Hillmanns 55 und Krienes 20).

Auch in einer ringförmigen Gesichtsfeldzone soll besonders bei höheren Graden von Myopie eine Herabsetzung der Farbenempfindung (relatives Ringskotom „für Rot") häufig nachzuweisen sein (Wettendorfer).

Ebenso kann der foveale Farbensinn insofern eine Veränderung erfahren, als gleichfalls die Schwelle für die Erkennung blauer Farbenobjekte höher liegt, als normal (Wolffberg, Krienes 20).

Aus dem gleichen Grunde soll bei myopischen Augen geradezu ein relatives Rotsehen bestehen, derart, daß alles in einem mehr rötlicheren Farbenton gesehen wird (Krienes 20), wie mit dem emmetropischen Auge.

Die Frage ist scheinbar einfach zu lösen, indem man Fälle mit einseitiger Myopie prüft. In der Tat sehe ich selbst (einseitige Myopie von 4,0 D) mit dem myopischen Auge z. B. das Natriumgelb deutlich rötlicher, wie mit dem emmetropischen, mit dem es mir, wenn hinterher betrachtet, geradezu grünlichgelb aussieht (Farbensinn beiderseits sonst völlig normal). Aber die Häufigkeit von Differenzen im Farbensehen der beiden Augen ist nach unseren heutigen Erfahrungen so groß, daß ich nicht wage, hieraus Schlüsse zu ziehen.

Bei höheren Graden von Kurzsichtigkeit treten zwar foveale Farbensinnstörungen häufiger auf, sie sind jedoch dann in der Regel auf die sichtbare Aderhauterkrankung am hinteren Pol zu beziehen und gehören somit in das nächste Kapitel.

Veränderungen in den brechenden Medien.

Trübungen der brechenden Medien, gleichgültig ob sie in Hornhaut, Vorderkammer, Linse oder Glaskörper liegen, rufen an sich keine typische Farbenblindheit hervor; diese betrifft ausschließlich Funktionsstörungen des nervösen Apparates unseres Sehorganes, d. h. der eigentlichen durch Licht affizierbaren Substanz (qualitative Anomalien des Farbensinnes nach Hering).

Gleichwohl müssen auch Trübungen der brechenden Medien einen Einfluß auf das Farbensehen ausüben[1]). Erstens können die Lichtstrahlen bereits innerhalb des dioptrischen Apparates des Sehorganes eine Veränderung erleiden, noch bevor sie die lichtempfindlichen Teile der Netzhaut treffen. Diese Veränderung beruht auf der elektiven Absorption und Dispersion von Lichtstrahlen. Hierbei wird Licht von verschiedener Wellenlänge, z. B. des Spektrums, durch irgendwelche Medien in verschiedenem Grade zurückgehalten (quantitative Anomalien nach Hering).

Der Unterschied gegenüber der Tritanopie, Rotgrünblindheit usw. beruht darauf, daß ein homogenes Licht (z. B. spektrales Blau) zwar seine Helligkeit einbüßen kann, aber sonst die gleiche Farbenempfindung hervorruft, wie beim Normalen. Gemischtes Licht, z. B. das Tageslicht, kann dagegen eine ganz andere Empfindung erzielen wie unter normalen Verhältnissen; denn die Strahlen verschiedener Wellenlänge, die es zusammensetzen, können in ungleichem Grade absorbiert werden.

Von dieser Wirkung kann man sich jederzeit am einfachsten überzeugen, wenn man ein gefärbtes Glas vor seine Augen hält und damit ein Spektrum sowie eine vom Tageslicht beleuchtete Fläche betrachtet.

Ein weiterer Einfluß kann sich dadurch geltend machen, daß bei starken Trübungen die Netzhaut in einem gewissen Grade von Dunkeladaptation erhalten wird. Bei intakter Netzhaut wird sich ein derartiges Auge ähnlich verhalten wie ein normales bei angehender Dämmerung. Hat etwa gleichzeitig eine Netzhauterkrankung zu teilweiser oder vollkommener Hemeralopie geführt, so treten die dadurch bedingten Farbensinnstörungen (S. 245) deutlicher hervor.

Die elektive Absorption bezw. Dispersion scheint sich übrigens bei den mäßigen Graden von Hornhauttrübungen, Linsentrübungen (soweit nicht Gelbfärbung mit im Spiele ist, s. u.) und Glaskörpertrübungen bei klinischer Farbensinnprüfung nicht störend bemerkbar zu machen. Bei stärkeren Trübungen werden die Farben etwa so gesehen, wie vom normalen Auge bei herabgesetzter Beleuchtung (Schmidt-Rimpler 17). Die Schwellenwerte steigen dabei. So kommt es, daß wenig gesättigte Abstufungen von Farben zuweilen verwechselt werden. Nimmt man qantitative Farbensinnprüfungen durch Bestimmung der Schwellenwerte vor, z. B. mit den Bull- oder Kolbeschen Tafeln (S. 175),

[1]) Von Erscheinungen, wie Regenbogenfarben usw., wie sie sich bei Trübung der Medien um Lichtflammen bilden, soll hier abgesehen werden.

so kann man diesen Einfluß beobachten. Wiederum werden hier besonders die blauen und grünen Sättigungsstufen gern verwechselt (Bull 2, Treitel 3). Zuweilen können auch grüne und blaue Farben den gelben und roten gegenüber heller als sonst erscheinen (Treitel), eben infolge des Einflusses der Dunkeladaptation.

Auf die Einstellung der Rayleighgleichung haben mäßig dichte Trübungen, durch welche die Sehschärfe auf etwa $^1/_4$ herabgesetzt ist, keinen nennenswerten Einfluß.

Eine elektive Absorption von Lichtstrahlen findet jedoch dann statt, wenn die brechenden Medien aus irgend einem Grunde gefärbt erscheinen und nunmehr wie ein farbiges Glasfilter wirken. Hier sind an erster Stelle zwei klinisch häufige Erscheinungen anzuführen, nämlich die Gelbfärbung der Augenlinse mit zunehmendem Lebensalter und Blutungen im Glaskörper und vor der Netzhaut.

Gelbfärbung der Linse.

Die Linse zeigt bereits in ziemlich frühen Lebensjahren eine Gelbfärbung, nach Hering sogar bereits beim Neugeborenen. Mit den Jahren nimmt diese Färbung zu, und bei älteren Leuten hat die Linse besonders im Kern eine oft bernsteingelbe Farbe, wovon man sich bei Starextraktionen leicht überzeugen kann. Diese Zunahme erfolgt übrigens nicht gleichmäßig, und man findet zuweilen in jüngeren Jahren gelbere Linsen wie beim Greise.

Besonders hochgradige Formen von Linsenfärbung wird als Cataracta nigra bezeichnet, ohne daß hierbei übrigens eine besonders ausgeprägte „Trübung" der Linse vorhanden zu sein braucht.

Die elektive Absorption, zu welcher die Gelbfärbung der Linse notwendiger Weise führt, auch wenn keine Cataracta nigra vorliegt, macht sich hauptsächlich für kurzwellige Lichtstrahlen bemerkbar, d. h. für Grün, Blau und Violett. Dabei ist die Absorption natürlich je nach dem Grade mehr oder weniger ausgesprochen.

Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man eine frisch extrahierte Linse in Glycerin zwischen zwei parallele Glaswände bringt, das Präparat in ein spektrales Band hält und in durchfallendem homogenen Licht betrachtet. Im spektralen Rot erscheint auch die Cataracta nigra noch fast ganz durchlässig. Je weiter man nach dem Grün hin geht, desto weniger homogenes Licht fällt durch die Linse, desto dunkler hebt sie sich ab und bereits im Grün erscheint sie nahezu als schwarze Scheibe (Hess 14).

Die spezifische Absorption für blaue Lichter schwankt nach Hess (13) zwischen 0,1 bei Jugendlichen und über 0,85 bei einem 78jährigen! Bei letzterem findet also eine nahezu vollkommene Zurückhaltung blauen Lichtes statt[1]).

Trotz derartiger hochgradiger Absorption kann noch eine ganz gute Sehschärfe bestehen. Auch bei seitlicher Beleuchtung der Linse findet man im Alter nur einen graugelblichen Reflex, seltener einen bräunlichen, wie bei der Cataracta nigra.

Schaltet man aber vor die Lichtquelle ein blaues Glas, das auch noch grüne Strahlen des Spektrums hindurchläßt, so kann man die Gelbfärbung der Linse leicht nachweisen. In der Jugend erscheint nunmehr die Pupille dunkel, im Alter aber mehr oder weniger schön grün, zuweilen heller als die Iris (Hess 13).

Bei dieser Grünfärbung spielt neben einfacher Reflexion der Strahlen auch die Fluorescenz eine wesentliche Rolle. Auch sie nimmt mit dem Alter zu und beruht auf einer Umwandlung kurzwelliger (blauer, violetter und ultravioletter) Strahlen in langwellige (Schanz und Stockhausen).

Hierdurch werden charakteristische Störungen des Farbensehens hervorgerufen, wie sich zeigen läßt, wenn man einen Patienten vor und nach der Extraktion einer gelbgefärbten Linse untersucht.

Eigentlich müßten die Patienten alle farblosen bezw. weißen Gegenstände nun gelb sehen. Aber bei der langen Zeitdauer und der allmählichen Entstehung der Gelbfärbung der Linse, merken sie für gewöhnlich nichts von der Farbenänderung des Tageslichtes, sie gewöhnen sich an die gelbe Farbe, (ermüden dafür) und es erscheint ihnen daher ebenso farblos wie dem Normalen.

Anders dagegen, wenn sie plötzlich durch eine gelbgefärbte Linse blicken würden, oder wenn ihnen zu ständigem Vergleich ein Auge ohne gelbgefärbte Linse zur Verfügung stände; dann sehen sie in der Tat die Außenwelt wie durch ein gelbes Glas.

Beispiel: Eine 59jährige Frau war auf einem Auge staroperiert worden. Nach der Operation trat das typische Blausehen auf, das allmählich verschwand. Auf dem anderen linsenhaltigen Auge bestand völliger Pupillarverschluß. Als nun hier die Iridektomie angelegt worden war, sah die Patientin mit diesem Auge alles lebhaft Gelb (van Duyse 11).

In negativer Weise macht sich die Linsenfärbung regelmäßig bemerkbar, wenn die gelbe Linse plötzlich entfernt wird, z. B. durch Staroperation. Das gemischte Tageslicht erhält nun scheinbar für den Patienten eine ganz andere Zusammen-

---

[1]) Von dem spektralen Bande läßt die normale menschliche Linse ultraviolette Strahlen von etwa 400 μμ—375 μμ abwärts nicht mehr durch; die Absorption schwankt etwas je nach individuellen Verhältnissen und nach dem Lebensalter, d. h. mit zunehmendem Alter wird die Absorption größer (Hallauer 16 u. a.).

In den ersten beiden Lebensdezennien soll nach Hallauer übrigens ein ultraviolettes Strahlenbündel von 330—310 μμ Wellenlänge die Linse passieren.

setzung, weil die bisher absorbierten blauen Strahlen nun ungehindert die Netzhaut treffen. So kommt es, daß für ihn alles blau oder bläulich aussieht (Blausehen nach Staroperation s. S. 215). Viele Patienten geben das Blausehen erst auf Befragen zu, klagen auch wohl darüber, daß ihnen alles wie frisch bläulichweiß gestrichen erscheine. Allmählich nimmt das Blausehen an Intensität ab und verschwindet nach längstens 1 Monat (Enslin 8).

Bei Betrachtung des farbigen Spektrums durch eine stark gelbgefärbte Linse fällt vor allem die starke Verkürzung des spektralen Bandes am violetten Ende auf, die natürlich von der Stärke der Gelbfärbung der Linse abhängig ist. Für eine Patientin Hess' (12) hörte das Spektrum bereits dort auf, wo der Normale noch Blaugrün sieht. Die Folge davon ist, daß blaue Gegenstände nahezu oder völlig schwarz erscheinen müssen. Rot und Orange wird im wesentlichen unverändert gesehen. Gelb wird zuweilen mit Weiß verwechselt, denn auch Gegenstände, welche der Normale weiß sieht, etwa Papier u. dergl., sieht der Patient ja ebenfalls eigentlich gelb.

Läßt man die Beobachter nach einem Licht blicken und hält ihnen ein blaugefärbtes Glas vor, das außer blauen auch noch langwellige (rote) Lichtstrahlen hindurchläßt, so brauchen nur die letzteren wahrgenommen zu werden und das Licht wird nicht blau, sondern rötlich gesehen.

Es fällt auf, daß die Farbenempfindung bei Betrachtung des Spektrums eine gewisse Ähnlichkeit mit der erworbenen Blaugelbblindheit (Tritanopie) hat, doch darf sie mit ihr keinesfalls verwechselt werden. Der grundlegende Unterschied beruht vor allem darauf, daß bei der Tritanopie nur 2 Farbentöne im Spektrum gesehen werden und daß sie ein dichromatisches Farbensystem vorstellt, was bei der Absorption durch die gelbe Linse nicht der Fall sein kann. Auch tritt die Tritanopie, wie wir sehen, meist in Gestalt scharf umschriebener Skotome im Gesichtsfeld auf, die sich am Perimeter unschwer nachweisen lassen, während bei der Linsenabsorption alle Netzhautstellen in gleicher Weise betroffen sein müssen.

Patienten mit gelbgefärbter Linse werden zuweilen von grellem Licht weniger belästigt als andere, da mit der starken Absorption kurzwelliger (blauer und violetter) Strahlen auch die Blendung wegfällt. Im allgemeinen kommt ihnen aber ihre veränderte Farbenempfindung kaum zum Bewußtsein, da sie sich ganz allmählich daran gewöhnen und ihnen in der Regel jedes Vergleichsmoment fehlt. Daher sind auch bestimmte Berufsklassen, wie Maler, Färber sich nicht bewußt, daß sie mit zunehmender Linsen-

färbung andere Farbenzusammenstellungen wählen wie früher, die im wesentlichen darin gipfeln, daß sie verschwenderisch mit Blau umgehen. Auch wenn sie darauf aufmerksam gemacht werden, lassen sie sich nicht überzeugen.

Für die Malkunst — man verzeihe die kleine Abschweifung — ist die Frage von jeher von großem Interesse gewesen. Nicht selten kann man bei Malern mit zunehmendem Alter die Wirkung der Linsenabsorption an ihren Werken beobachten, die dann oft zu viel Blau enthalten. Ein Beispiel ist nach Liebreich (9) Mulready, der im Alter zu viel Blau bei seinen Arbeiten brauchte. Dieselbe Beobachtung wird bei Tizian gemacht, bei seiner im 70. Lebensjahre gemalten Mater dolorosa. Daß bei seinen späteren Werken diese Erscheinung zuweilen vermißt wird, führt Hess (13) wohl mit Recht darauf zurück, daß sich der Meister oft von jüngeren Kräften unterstützen ließ und daß seine Bilder zuweilen später übermalt wurden (Pietà in Venedig). Die Künstler könnten ihre Fehler korrigieren, wenn sie durch ein blaues Glas sehen würden. Hess berichtet, daß einer unserer ersten Maler später bei dem bläulichen und sehr hellen elektrischen Bogenlicht gemalt hat und dadurch eine ähnliche Wirkung erzielte, wie durch Vorsetzen eines bläulichen Glases.

Färber müssen zuweilen gegen ihr 60. Lebensjahr überhaupt auf feinere Färbungen verzichten, sie nehmen zu wenig Gelb zu den Mischungen und machen Blau zu intensiv. Die Nuancen von Grün werden unrichtig u. s. w. (Hess).

Präretinale Blutungen.

Eine präretinale Blutung muß ebenso als Filter für die Lichtstrahlen wirken, wie es eine gelbgefärbte Linse tut. Da aber die Blutung nur vor einem Teil der Netzhaut sich befindet wird die Störung des Farbensinnes sich nicht über das ganze Gesichtsfeld erstrecken, sondern es besteht nur ein Skotom.

Die Patienten sehen dann im Gesichtsfeld einen roten Fleck, mehr oder weniger dunkelrot, je nach der Dicke der Blutschicht, als ob sie durch ein Glas mit einem roten Fleck blickten (positives Farbenskotom für Rot) (s. a. unter Rotsehen S. 203). Bei starker Blutung kann ein absoluter schwarzer Fleck gesehen werden.

Blaue Pigmentfarben (Papier, Tuche) können für dunkelgrün gehalten werden (Treitel 3 u. a.) und so möglicherweise zur Verwechselung mit echter Blaugelbblindheit führen.

Mit der Resorption der Blutung schwindet auch die Störung der Farbenempfindung, vorausgesetzt, daß nicht auch die einzelnen Schichten der Netzhaut selbst in Mitleidenschaft gezogen sind.

Die Diagnose wird sich aus dem herdförmigen Auftreten und dem eigentümlichen Verhalten gegenüber dem Spektrum und farbigen Gläsern oder Pigmenten leicht stellen lassen (vergl. S. 203).

Ähnlich verhält sich die Farbenempfindung bei Glaskörperblutungen. Von großem Einfluß ist dabei stets die Lage der

Blutschicht und ihre Dicke. Späterhin sehen die Patienten auch wohl alles grünlich oder gelb (Leber 1).

B. Erkrankungen der Netzhaut und Aderhaut.

Da die Funktionsstörungen, welche die Aderhauterkrankungen begleiten, lediglich von der Mitbeteiligung der Netzhaut abhängen, können sie gemeinsam mit den Netzhauterkrankungen besprochen werden.

In funktioneller Hinsicht erscheint es zunächst außerordentlich verlockend, die Netzhauterkrankungen in zwei Gruppen einzuteilen:

a) Die Erkrankungen der äußeren Netzhautschichten bezw. der Neuroepithelschicht: (Pigmentepithel + Stäbchen und Zapfenschicht + Membrana limitans externa + äußere Körnerschicht + Henlesche Faserschicht, welche zusammen nach der Neuronenlehre das 1. Neuron darstellen), ernährt von dem Gefäßsystem der Aderhaut.

b) Die Erkrankungen der inneren Netzhautschichten bezw. der Gehirnschicht (äußere plexiforme Schicht + innere Körnerschicht + innere plexiforme Schicht + Ganglienzellenschicht + Nervenfaserschicht, die nach der Neuronenlehre das 2. und 3. Neuron ausmachen), ernährt von dem Gefäßsystem der Netzhaut.

Bisher hatte sich nämlich gezeigt, daß, was Farben- und Lichtsinnstörungen anbetrifft, zwischen den beiden Zonen fast stets ein großer Unterschied besteht, ja ein geradezu gegensätzliches Verhalten. Es läßt sich kurz dahin zusammenfassen, daß im allgemeinen bei Erkrankungen der Gehirnschicht Farbensinnstörungen im Sinne einer erworbenen Rotgrünblindheit auftreten (neuroptische Farbensinnstörungen nach Wolffberg), bei Erkrankungen der Neuroepithelschicht dagegen meist Störungen im Sinne einer erworbenen Tritanopie (Blaugelbblindheit) (photochemische Farbensinnstörungen nach Wolffberg). Eine erhebliche Beeinträchtigung der Dunkeladaptation (Hemeralopie) bildet bei der letzteren Gruppe die Regel, pflegt dagegen bei der ersteren zu fehlen.

Ob sich dieser funktionelle Gegensatz zwischen der Neuroepithelschicht und der Gehirnschicht der Netzhaut mit der gewohnten Schärfe wirklich aufrecht erhalten läßt, kann vorläufig noch nicht mit Sicherheit entschieden, wohl aber bezweifelt werden. Unsere jetzigen Kenntnisse über die Pathologie sind noch zu mangelhaft, um die bisherigen Befunde ohne weiteres zu verallgemeinern.

Zur Beurteilung der Frage sind wir auf die Ausfallserscheinungen bei bestimmten typischen Erkrankungen angewiesen. Bei ihnen ist jedoch häufig das anatomische Bild noch recht kompliziert, und nicht selten sind beide Netzhautschichten dabei beteiligt.

Will man trotzdem eine Einteilung der Störungen des Farben- (und Lichtsinnes) entsprechend den beiden Netzhautschichten durchführen, so würde sie sich nach dem heutigen Wissen etwa folgendermaßen gestalten:

Erkrankungen der Neuroepithelschicht.	Erkrankungen der Gehirnschicht.
(a Prüfung bei Helladaptation (gutes Tageslicht).	
Vorwiegend (aber wahrscheinlich nicht ausschließlich) photochemische Farbensinnstörungen (Wolffberg): erworbene Tritanopie (Blaugelbblindheit).	Neuroptische Farbensinnstörung nach Wolffberg: Degeneration des Farbensinnes über die erworbene Rotgrünblindheit schließlich in totale Farbenblindheit.
Ob Rotgrünblindheit vorkommt, ist noch fraglich, aber sehr wohl möglich.	Wahrscheinlich besteht dabei ein gewisses Parallelgehen mit der Herabsetzung der Sehschärfe (s. später).
Totale Farbenblindheit kann auftreten, wenn vorher angeborene Protanopie, Deuteranopie bestand oder erworbene Rotgrünblindheit hinzukommt.	Das Vorkommen erworbener Tritanopie ist bisher nicht nachgewiesen.
Trotz scheinbar normalem Farbensinn kann eine Herabsetzung der Empfindlichkeit für alle Farben bestehen (die relativen Schwellenwerte sind erhöht; siehe später).	Subjektives Farbensehen in Gestalt positiver Skotome tritt vor allem auf, wenn gefärbte Exsudate oder Blut sich in den Schichten befinden. Dadurch wird eine elektive Absorption der Lichtstrahlen bedingt, ehe sie zu den perzipierenden Elementen gelangen, besonders Grün-, Grüngelb- und Rotsehen, vielleicht auch Violett- oder Blausehen.
Subjektive Störungen: a) Flimmern, b) Farbigsehen (meist fleckweise im Gesichtsfeld positive Skotome), vor allem Grün- bezw. Gelb- und Violett- oder Blausehen.	
Es besteht größere Neigung zur Erythropie (s. S. 204) wie normal.	
Es besteht weitgehende Unabhängigkeit zwischen Sehschärfe und Farbensinnstörung.	

Prüfung bei Dunkeladaptation (bei herabgesetzter Beleuchtung)

Topor retinae: Es besteht eine erhebliche Störung der Dunkeladaptation (Hemeralopie).

Infolgedessen pflegen

1. *Gesichtsfeld*störungen aufzutreten, die bei Tageslicht nicht vorhanden waren, oder vorher vorhandene größer zu werden.
2. Skotome sind nach *Wilbrand* und *Sänger* anfänglich positiv, die Kranken nehmen sie als dunklen Fleck wahr infolge der Herabsetzung des Lichtsinnes gegenüber der Umgebung.
3. Die Farbenempfindung wird insofern beeinflußt, als kurzwellige (z. B. blaue) Lichter dunkler erscheinen als normal (Fortfall des *Purkinje*schen Phänomens (S. 21). Es treten Gesichtsfeldeinengung oder Skotome für blaue Objekte auf.

Die Dunkeladaptation pflegt in der Regel nicht beeinträchtigt zu sein gegenüber der des Normalen.

Infolgedessen

1. unterscheidet sich das *Gesichtsfeld* bei herabgesetzter Beleuchtung kaum von dem bei heller Tagesbeleuchtung aufgenommenen.
2. Skotome pflegen meist negativ zu sein, d. h. die Kranken nehmen ihr Skotom subjektiv nicht wahr, vorausgesetzt, daß nicht ein Exsudat oder Blutung eine umschriebene Lichtabsorption bedingt.
3. Kurzwellige (z. B. blaue) Lichter erscheinen bei sinkender Beleuchtung heller als langwellige (ebenso wie auch beim Normalen).

Noch nicht erwiesen ist jedenfalls, daß von den beiden sich gegenüberstehenden Haupttypen erworbener dichromatischer Farbensysteme, nämlich die erworbene Tritanopie (Blaugelbblindheit) und Rotgrünblindheit, die erstere ausschließlich der Neuroepithelschicht, die letztere der Gehirnschicht der Netzhaut eigentümlich ist.

Zur Zeit läßt sich nur sagen, daß bei Krankheitsprozessen, welche zu einer *Atrophie der Gehirnschicht* der Netzhaut führen, noch keine Tritanopie, sondern nur Rotgrünblindheit beobachtet wurde.

Umgekehrt führten diejenigen Erkrankungen, bei welchen die *Neuroepithelschicht* vorwiegend beteiligt war, zu einer erworbenen Tritanopie oder Blaugelbblindheit stets dann, wenn es sich um entzündliche, exsudative oder transsudative Vorgänge handelte. Ob die erworbene Tritanopie auch dann auftritt, wenn die Neuroepithelschicht durch einfache Atrophie zu Grunde geht, ist sehr fraglich. Es ist jedenfalls auffällig, daß bei einigen Erkrankungen, wie bei unkomplizierter Retinitis pigmentosa, wo doch ihre Beteiligung außer Frage steht, bisher noch kein erworben tritanopisches Farbensystem nachgewiesen ist (vergl. S. 249).

Es ist demnach wahrscheinlich, daß die Natur des pathologischen Prozesses eine gewisse Rolle bei der Farbensinnstörung spielt. Für die klinische Diagnostik ist diese Tatsache von größerer Bedeutung als die Trennung nach Gehirn- und Neuroepithelschicht der Netzhaut, weil zutreffenden Falls aus dem Ausfall der Farbensinnprüfung ein Rückschluß auf die Art des Krankheitsprozesses gemacht werden könnte.

Sondert man von den Netzhaut- (und Aderhaut-)Erkrankungen zwei Hauptgruppen aus, solche, welche mit einem Exsudat oder Transsudat einhergehen, und die einfach degenerativen, so kann man nach den bisherigen Erfahrungen (die zur Lösung der Frage noch keineswegs ausreichend sind) folgendes sagen:

I. Exsudative (transsudative) Prozesse der Netzhaut.

Es herrschen vor: a) Farbensinnstörung unter dem klinischen Bilde der (Blau-) Violett-Blindheit, b) subjektiv: positive Farbenskotome, c) Hemeralopie bezw. Topor retinae.

a) Das klinische Bild der (**Blau-**) **Violett-Blindheit.** Man kann hierunter nicht nur das dichromatische System der erworbenen Tritanopie verstehen. Vielmehr müssen wahrscheinlich mehrere Störungen zusammengefaßt werden, die in der Regel nebeneinander vorkommen und die sich ohne genaue Untersuchungen mit spektralen Mischungsgleichungen mit Sicherheit nicht voneinander trennen lassen. Hierzu gehören vor allem:

1. Die eigentliche Tritanopie, d. h. das Auftreten eines charakteristischen dichromatischen Farbensystems (S. 114).

2. Absorptionserscheinungen durch gefärbte Netzhauttrübungen (z. B. gelbliche oder grünliche Exsudate) vor der perzipierenden Schicht der Stäbchen und Zapfen. Dabei bleibt das Sehen trichromatisch (vorausgesetzt, daß vorher normaler Farbensinn vorhanden war).

Befindet sich z. B. in den inneren Netzhautschichten ein Medium, durch welches blaue und violette (kurzwellige) Strahlen stark absorbiert werden, so werden hauptsächlich nur die grünen Lichtstrahlen, welche den blauen, stets unreinen Pigmentfarben beigemischt sind, die perzipierende Schicht erreichen. Die blauen Objekte können also dunkelgrün gesehen werden, und in ähnlicher Weise kann auch die Empfindung andersfarbiger Objekte leiden (Simon, Treitel).

3. Adaptationsstörungen an den erkrankten Stellen der Netzhaut. Hierdurch muß ebenfalls wieder die Empfindung kurzwelliger (z. B. blauer) Lichter leiden, sowie die Beleuchtung sinkt, oder auch wenn durch eine Trübung in den inneren

Netzhautschichten das Licht absorbiert wird; sie erscheinen sehr dunkel, bezw. werden überhaupt nicht mehr gesehen (s. S. 246 fehlender Einfluß der Dunkeladaptation).

Durch diese verschiedenen Vorgänge, die durchaus noch nicht genügend erforscht sind, werden bei Anwendung der gebräuchlichen Untersuchungsmethoden sehr ähnliche Symptome bedingt. Sie gipfeln sämtlich darin, daß kurzwellige bes. blaue und violette Lichter erstens dunkler als normal erscheinen und zweitens ihren Farbenton nach dem Grün hin ändern. Im Gegensatz dazu werden grüne und vor allem rote Lichter am meisten verändert gesehen.

Die Blau- bezw. Violettblinden zeigen also im allgemeinen bei klinischer Untersuchung ein Verhalten, das dem Blaugelbblinden nahezu gleichkommt und nochmals kurz zusammengefaßt werden soll:

Das Perimeter kommt für die Diagnostik in erster Linie in Betracht. Man prüft am besten auf Skotome.

α) Weiße Objekte werden unverändert oder gelblich, bläulich, am häufigsten grünlich gesehen.

β) Grün erscheint mehr oder weniger weißlichgrün (graugrün bis grau), oft ändert es den Farbenton in blau.

γ) Rot erscheint in der Regel entweder unverändert oder dunkler, zuweilen auch besser.

δ) Gelb wird entweder weiß (bezw. grau) oder rosa oder es ändert seinen Farbenton nach grünlich (bläulich, lila!). Von großem Einfluß ist dabei der Farbenton des angewendeten Gelb.

ε) Blau (bezw. Blauviolett) erscheint blaugrün und zugleich dunkler, ja es kann schwarz genannt werden. Die Tonänderung blauer Objekte in Grün pflegt am konstantesten zu sein, sie ist diagnostisch am wichtigsten.

Pseudoisochromatische Gleichungen (am Nagelschen Farbengleichungsapparat oder ähnlichen Apparaten):

α) Am häufigsten läßt sich eine Gleichung zwischen grünem und blauem Objekt erzielen (aber nicht immer, der Farbenton der Objekte ist hierbei von großem Einfluß!).

β) Seltener ist eine Gleichung zwischen Gelb und Weiß möglich (wiederum ist der Einfluß des Tones des Gelb zu beachten). Bei den Gleichungen muß die Helligkeit der beiden Vergleichsfelder entsprechend reguliert werden, bis beide vom Patienten gleich hell gesehen werden.

---

[1]) Für beginnende Fälle ist der Haitzsche Apparat sehr zu empfehlen.

Rayleighgleichung (spektrale Mischungsgleichung s. S. 133): meist (nicht immer) ergibt sich ein charakteristisches Verhalten. Zum Rotgrüngemisch muß erheblich mehr Rot hinzugefügt werden, wie für den Normalen, damit das Gemisch dem gelben Vergleichsfelde gleich erscheint (beim Nagelschen Anomaloskop entspricht die veränderte Einstellung meist einem Mehr von etwa 10 Teilstrichen der Stellschraube).

Bezüglich weiterer Prüfungsmethoden vergl. S. 122. Auch lassen sie sich aus dem dort Gesagten leicht ableiten.

b) Die subjektiven Klagen entsprechen im allgemeinen der Blaugelbblindheit (vergl. auch S. 121). Charakteristisch und stets auf Blau- bezw. Violettblindheit verdächtig sind folgende Beschwerden:

α) Blaue (und violette) Gegenstände z. B. Blumen (Hyazynthen, Veilchen) werden mit dem erkrankten Auge grün oder schwarz gesehen, mit dem gesunden dagegen in der gewöhnlichen blauen Farbe.

β) Beim Sehen auf helle Flächen erscheinen positive Farbenskotome, besonders grüne oder grüngelbe und violette oder blaue Flecke.

c) Die Hemeralopie wird von dem Patienten selbst häufig nicht so bemerkt, wie etwa bei der Retinitis pigmentosa; denn sie nimmt meist nicht das ganze Gesichtsfeld ein, sondern tritt nur herdförmig auf und läßt noch genügend adaptationsfähige Netzhaut frei. Dagegen macht sie sich bemerkbar bei der Farbensinnprüfung, vor allem am Perimeter:

Die absoluten Gesichtsfeldgrenzen für farbige Objekte (im Bereich von Skotomen oder in der Peripherie) sind beim Hemeralopen enger wie beim Normalen, und zwar nicht für alle Farben in gleichem Grade, sondern die Einengung ist für Blau stärker als für Rot (weil sich die Dunkeladaptation hauptsächlich für kurzwellige Lichter bemerkbar macht). Hiervon kann man sich bereits bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung überzeugen, weil auch dann normaler Weise der Dämmerungsapparat des Auges keineswegs völlig ausgeschaltet ist. Die Störungen müssen einen verschieden hohen Grad aufweisen, je nachdem der Krankheitsherd makular oder peripher gelegen ist. Bei entsprechend herabgesetzter Beleuchtung kann so das blaue Objekt stellenweise vollkommen unsichtbar werden, während rot noch erkannt wird (absolute Skotome für Blau). Näheres siehe unter Hemeralopie (S. 245).

Die hier aufgeführten Symptome brauchen nicht immer sämtlich nachweisbar sein. Oft tritt das eine oder andere mehr oder weniger in den Hintergrund.

Außer den genannten Farbensinnstörungen sind häufig noch andere, weniger hervortretende nachweisbar, wie die Abnahme der Empfindlichkeit für farbige Objekte bei Prüfung mit qantitativen Methoden, z.B. Wolffbergsche Proben (s. unter Hemeralopie).

Nicht selten treten weitere Farbensinnstörungen hinzu, vor allem die erworbene Rotgrünblindheit mit ihren verschiedenen Stadien. Dadurch nähert sich der Farbensinn allmählich der totalen Farbenblindheit. Am Perimeter wird oft nur noch das rote Objekt rot oder rötlich gesehen, alle anderen verschwimmen zu einem helleren oder dunkleren Grüngrau (näheres S. 140).

Bezüglich der Art des Auftretens der Violett- oder Blaublindheit gelten folgende Besonderheiten:

1. Sie findet sich fast stets in Gestalt mehr oder weniger großer meist scharf begrenzter Skotome, selten nimmt sie das ganze Gesichtsfeld ein. Auf diese Weise läßt sich die Farbensinnstörung am Perimeter leichter nachweisen, da man den Übergang vom normalen Farbensinn in das Skotom beobachten kann.

2. Bei vielen Erkrankungen zeigt sich eine erhöhte Vulnerabilität der Gegend der Makula lutea. Derselbe pathologische Vorgang ruft hier leichter die Symptome der Blaublindheit hervor, wie peripher (Simon, Köllner)[1].

Ob diese Vulnerabilität der perzipierenden Elemente der Netzhaut für den zu grunde liegenden Krankheitsprozeß besteht, oder ob der makulare Netzhautteil nur eine gewisse Disposition für die Farbensinnanomalie besitzt (Simon), mag dahingestellt bleiben.

Immerhin tritt die Farbensinnstörung, wenn auch seltener, peripher auf; sie entgeht ja hier auch leichter der Beobachtung, zumal wir die Perimeterobjekte entsprechend den divergierenden Radien zu bewegen pflegen.

3. Trotz eines derartigen zentralen blau- bezw. violettblinden Skotoms kann die zentrale Sehschärfe noch vollkommen normal sein. Auf jeden Fall bestehen keinerlei Beziehungen zwischen Sehschärfe und Farbensinn, wie sie bei der erworbenen Rotgrünblindheit beobachtet wurden.

4. Der genannte Symptomenkomplex ist keineswegs für eine bestimmte Erkrankungsform (z. B. Retinitis albuminurica) besonders charakteristisch. Sie tritt vielmehr bei vielen derartigen Erkrankungen in gleicher Weise auf. Andererseits spricht das Fehlen der Farbensinnstörung nicht gegen das Vorhandensein einer entsprechenden Erkrankung. Man kann in diagnostischer Beziehung daher sagen, daß der

[1]) vergl. auch unter „erworbener Tritanopie“ S. 114.

Nachweis der klinischen Symptome der Blaublindheit und das Auftreten der entsprechenden subjektiven Beschwerden einen exsudativen bezw. transsudativen Vorgang innerhalb der Netzhaut höchst wahrscheinlich macht. Beobachtet ist sie worden bei der Ablatio retinae, Retinitis albuminurica, diabetica, specifica, Netzhautödemen verschiedenster Ätiologie, frischer Chorioiditis, Commotio retinae, frischer Neuritis nervi optici, bei Netzhautblutungen (auch im Gefolge von Glaukom).

II. Einfach degenerative Prozesse der Netzhaut.

Sie scheinen in der Regel mit erworbener Rotgrünblindheit einherzugehen, mit Ausgang in totale Farbenblindheit. Bei Beteiligung der Neuroepithelschicht tritt ebenfalls Hemeralopie für den erkrankten Netzhautbezirk hinzu mit der entsprechenden Beeinflussung des Farbensinnes (Auftreten von Skotomen für Blau bei Herabsetzung der Beleuchtung, Verkürzung des Spektrums usw.) (siehe auch Hemeralopie).

In der Regel besteht (im Gegensatz zur Blaublindheit) zwischen der Farbensinnstörung und der Sehschärfe ein gewisses Abhängigkeitsverhältnis, wie es bei progressiver Rotgrünblindheit überhaupt häufig der Fall ist (vergl. S. 178).

Hierher gehört vor allem die Retinitis pigmentosa mit ihren verschiedenen Formen, sowie die mannigfaltigen Erkrankungen der Aderhautgefäße mit der sekundären Atrophie des Pigmentepithels und der äußeren Netzhautschichten.

Im folgenden sollen einige Hauptformen von Netzhauterkrankungen gesondert besprochen werden, bei denen die Farbensinnstörungen ein gewisses diagnostisches und prognostisches Interesse beanspruchen können.

Zirkulationsstörungen der Netzhaut.

Tritt plötzlich eine starke arterielle Anämie ein z. B. durch Thrombose der Arteria centralis retinae oder ihrer Äste, so steht der sofort auftretende völlige Funktionsausfall der betreffenden Netzhautgebiete im Vordergrund und macht eine Prüfung des Farbensinnes überflüssig.

Auf Befragen erzählen zuweilen die Patienten, daß das Auftreten der Sehstörung von „Farbensehen" begleitet war. Derartiges Farbensehen kann eine zentrale (zerebrale) und eine lokale (retinale) Ursache haben.

Da die Thrombenbildung an den arteriosklerotisch erkrankten Gefäßwandungen durch eine Störung der Herzaktion ausgelöst werden kann, so treten nicht selten auch gleichzeitig zerebrale Symptome wie Schwindel usw. auf. Wenn den Patienten dabei „grün und gelb" vor den Augen wird oder ähnliche Störungen auftreten, so wird man das meist als Ausdruck der gestörten Gehirnzirkulation auffassen müssen.

Über ein subjektives Farbensehen wohl retinalen Ursprungs berichtet Wagenmann (19). Hier trat die Sehstörung mehrmals vorübergehend auf, und jedesmal sah der Patient bei Wiederherstellung der Funktionen intensiv „kornblumenblau". Ein Farbensehen zerebralen Ursprungs wird sich natürlich meist vor beiden Augen äußern, anderenfalls kann nur das kranke Auge betroffen sein. Oft werden aber die Patienten in ihrer Aufregung diese Unterscheidung nicht wahrnehmen.

Bei einer venösen Hyperämie der Netzhaut, wie sie durch plötzliche Blutstauung etwa beim Bücken entsteht, glaubte Preyer (18) eine Andeutung von Violettsehen zu beobachten[1]).

Treten **Blutungen** innerhalb der Netzhaut auf, so werden in der Regel positive Farbenskotome wahrgenommen, deren Größe und Gestalt etwa dem Augenspiegelbilde entsprechen (Treitel 3). Die Sehschärfe kann dabei stark herabgesetzt oder noch relativ gut sein, unabhängig von der Farbensinnstörung; sie hängt im wesentlichen davon ab, ob die Blutung foveal oder mehr parafoveal gelegen ist. Das Verhalten der Farbenempfindung ist recht variabel. Die Patienten klagen meist über das Sehen rötlicher, häufig auch grünlicher oder gelbgrüner Flecke. Auch tritt nacheinander Rotsehen, später Grün- oder Gelbsehen auf (Leber 1, Treitel 3).

Bei der Perimeteruntersuchung ergibt sich kein sehr charakteristisches Verhalten. Das rote Perimeterobjekt pflegt, wie zu erwarten steht, am längsten als Rot im Bereiche des Skotoms wahrgenommen zu werden, doch sind auch Skotome für Rot beschrieben (Wilbrand und Sänger 25). Grüne und auch gelbe Objekte verlieren meist frühzeitig ihren Farbenton und erscheinen grau oder rötlichgrau. Blaue Objekte erscheinen häufig sehr dunkel bis schwarz, auch grünlich (Treitel).

Die Größe der angewendeten farbigen Quadrate ist auch hier wieder von Bedeutung; prüft man mit kleinen Quadraten, etwa 2—3 mm, können sie bereits sämtlich ihren Farbenton im Skotom verlieren und grau in verschiedener Helligkeit erscheinen, während bei Anwendung größerer Objekte der Farbensinn scheinbar noch normal sein kann. Ähnlich variable Verhältnisse ergeben sich auch mit anderen Untersuchungsmethoden.

[1]) Die Erscheinung wurde von ihm zur Erklärung des Farbensehens im Santoninrausch herangezogen.

Die Ergebnisse event. Prüfungen mit spektralen Mischungsgleichungen sind nur mit Vorsicht zu verwerten, da die Blutungen meist klein sind und man nur sicher ist, die gewünschte Netzhautstelle zu untersuchen, wenn das Objektfeld sehr klein gewählt wird. Meist wird aber hierbei wieder die herabgesetzte Sehschärfe hinderlich sein.

Die Ursache der Farbensinnstörung ist wahrscheinlich durch mehrere Faktoren bedingt. Erstens muß sich die elektive Absorption des Blutfarbstoffes geltend machen (s. präretinale Blutungen S. 235). Zweitens können Netzhautelemente in ihrer Funktion mehr oder weniger beeinflußt werden, etwa durch Zertrümmerung, Nekrose, je nach Ausdehnung und Sitz der Blutung innerhalb der einzelnen Schichten der Netzhaut. Häufig gesellt sich dazu wohl auch noch ein Ödem oder Exsudat in der Umgebung des Herdes (Blaublindheit, Adaptationsstörungen).

Hemeralopie.

(akute idiopathische Hemeralopie).

Unter dem Namen Hemeralopie können eine Anzahl ätiologisch verschiedener Krankheitsprozesse und Ernährungsstörungen des Auges zusammengefaßt werden, bei welchen die plötzlich einsetzende Nachtblindheit das auffallendste Symptom bildet.

Diese akute Hemeralopie, gleichgültig aus welchen Gründen sie auftritt, beschränkt sich in ihren funktionellen Störungen durchaus nicht auf die hochgradige Beeinträchtigung der Dunkeladaptation, welche die Patienten schon bei beginnender Dämmerung vollkommen unfähig machen kann, sich allein zurechtzufinden. Regelmäßig finden sich auch Störungen des Farbensinnes, wenngleich sie gegenüber der Nachtblindheit an praktischer Bedeutung vollkommen zurücktreten.

Man muß hierbei besonders streng zwischen direkter (fovealer) und indirekter (peripherer) Farbenempfindung unterscheiden, da die Dunkeladaptation überwiegend den extrafovealen Netzhautteilen zukommt. Der Ausfall des Purkinjeschen Phänomens muß sich daher auch hier stark bemerkbar machen, während es im fovealen Sehen nur von geringem Einfluß sein wird.

A. Die periphere Farbenempfindung, die man ja klinisch in der Regel am Perimeter durch Bestimmen der Gesichtsfeldgrenzen für die farbigen Objekte Rot, Gelb, Grün, Blau prüft, entspricht in der Tat im großen und ganzen dem Ausfall des Purkinjeschen Phänomens. Dabei bestehen nur graduelle Unterschiede, ob bei stark herabgesetzter Beleuchtung untersucht wird oder im Hellen. Denn auch bei gutem Tageslicht, bei welchem gewöhnlich perimetriert wird, befindet sich der Dämmerungsapparat des Auges schon in Tätigkeit und sein Versagen muß auch hier bereits merklich sein.

Dem Normalen erscheinen daher peripher infolge des Einflusses des Dämmerungsapparates die kurzwelligen Lichter heller als die langwelligen, z. B. blau heller als rot und die absoluten Gesichtsfeldgrenzen für blaue Objekte daher in der Regel weiter als für rote (natürlich besteht eine große Abhängigkeit von der Versuchsanordnung vergl. S. 28). Dem Hemeralopen dagegen werden kurzwellige Lichter dunkler erscheinen; infolgedessen müssen die absoluten Gesichtsfeldgrenzen für Blau verhältnismäßig stärker eingeengt sein als für Rot. Je stärker die Beleuchtung herabgesetzt wird, desto größer wird die Einengung der farbigen Gesichtsfeldgrenzen für den Hemeralopen und desto mehr entfernt er sich von dem Normalen. Dieses Verhalten gibt folgendes Schema nochmals an:

Perimetergrenzen

bei Hemeralopie	**beim Normalen**
Untersuchung bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung.	
Gegenüber einer normalen Vergleichsperson sind die Grenzen für alle Farben eingeengt, für Blau verhältnismäßig am stärksten, ev. bis auf die Grenzen für Rot oder noch darunter.	Die Grenzen für Blau sind bei den gebräuchlichen Objekten in der Regel erheblich weiter als für Rot.
Untersuchung bei zunehmender Dämmerung.	
Spezifische und absolute Grenzen für alle Farben werden erheblich enger, besonders aber für Blau. Das blaue Perimeterobjekt kann bereits völlig der Wahrnehmung entschwunden sein, wenn für das rote noch seine spezifischen Gesichtsfeldgrenzen umbestimmt werden können.	Die absoluten[1]) Grenzen für blaue (und weiße) Objekte erweitern sich eher, verengern sich dagegen für Rot. Die spezifischen[1]) Grenzen werden für alle farbigen Objekte enger, aber für blau etwas schneller als für Rot (also umgekehrt wie bei den absoluten Grenzen).

Zahlen anzugeben ist wegen der Abhängigkeit von der Art der Untersuchungsobjekte und der jedesmaligen Beleuchtung wertlos.

Da die hemeralopische Störung nicht immer die ganze Netzhaut in gleichem Grade oder die Peripherie am stärksten befällt, so braucht die Einengung der Farbengrenzen auch nicht stets regelmäßig konzentrisch vor sich zu gehen und die zentralen Gesichts-

[1]) Vergl. „Das Farbengesichtsfeld" im Abschnitt III.

feldteile am längsten funktionsfähig zu bleiben. So ist denn auch umgekehrt eine Hemeralopie vorwiegend der zentralen Netzhautpartien beobachtet, sodaß bei herabgesetzter Beleuchtung sich absolute Farbenskotome (bei Tageslicht ev. schon relative) besonders für Blau nachweisen lassen können (z. B. 2 Fälle von Krienes 21).

Außer dieser Einengung der absoluten und spezifischen Gesichtsfeldgrenzen für farbige Objekte wird zuweilen auch noch eine Änderung im Farbenton besonders blauer Objekte beobachtet: sie werden grünlich gesehen (s. unter Farbensinn im direkten Sehen).

Normaler Weise wird bekanntlich eine derartige Tonänderung für gewöhnlich nicht beobachtet, wenn auch Hochecker und Treitel (3) u. a. bei einigen normalen Personen beobachtet haben, daß cyan- und indigoblaue Objekte bei abnehmender Beleuchtung als grünlichgrau bezeichnet wurden.

B. Der Farbensinn im direkten Sehen leidet ebenfalls fast regelmäßig, wenn auch nur in geringem Grade. Dabei scheint er trichromatisch zu bleiben.

Wenigstens sind keine Beobachtungen bekannt, welche ein dichromatisches System nachgewiesen oder wahrscheinlich gemacht haben. Ich selbst habe bei einem Patienten, welcher besonders ausgeprägte Farbensinnstörungen darbot, mit spektralen Gleichungen am Helmholtzschen Spektralfarbenmischapparat untersucht und gefunden, daß sicher ein trichromatisches Farbensystem bestand.

Die Störungen des Farbensinnes können auch nicht ohne weiteres in den Rahmen der bekannten oben beschriebenen Haupt-Typen eingepaßt werden. Bei den gewöhnlichen klinischen Prüfungsmethoden wird nicht immer der Dämmerungsapparat des Auges vollkommen ausgeschaltet und die beobachteten Abweichungen von der Farbenempfindung sind infolgedessen zu einem Teil wiederum auf den Ausfall des Purkinjeschen Phänomens zurückzuführen, ganz wie im peripheren Sehen.

Das zeigt sich besonders, wenn man die Patienten ein farbiges Spektrum betrachten läßt. Hier macht sich je nach dem Grade der Erkrankung eine mehr oder weniger beträchtliche Verkürzung des Spektrums am blauen Ende bemerkbar, es reicht zuweilen nur bis zum Grün, während der ganze blaue und violette Teil unsichtbar bleiben kann. Macht man das Spektrum lichtschwächer, so kann der grüne Teil als grau gesehen werden zu einer Zeit, wo der Normale noch deutlich Grün erkennt. Bei weiterer Herabsetzung der Beleuchtung verschwindet auch Rot früher, als es beim Normalen der Fall ist (Hess 22).

Außerdem können einzelne Lichter auch ihren Farbenton ändern. Beleuchtet man in einem

Spektralapparat das Objektfeld mit einzelnen spektralen Lichtern, so können besonders blaue und violette Lichter mehr oder weniger lebhaft grün gesehen werden, besonders bei sinkender Lichtstärke. Wenn auch darin eine gewisse Ähnlichkeit mit der erworbenen Tritanopie besteht, so habe ich doch eine wirkliche „Endstrecke" (S. 119) am kurzwelligen Ende des Spektrums nicht beobachtet. Kurzwellige Lichter verschiedener Wellenlänge erscheinen also nicht alle in gleichem Farbenton, immerhin konnte ich doch eine erhebliche Herabsetzung der Unterscheidungsfähigkeit für Farbentöne gegenüber dem Normalen feststellen. Z. B. wurden zwei Lichter, die der Normale als blaugrün und blau deutlich unterscheidet, gleich (grün) gesehen.

Da auch für Normale bei herabgesetzter Beleuchtung blaue Lichter einen grünlichen Ton annehmen sollen (s. o.), so handelt es sich auch hier vielleicht nur um graduelle Unterschiede. Inwieweit die Symptome als Vorstufe der erworbenen Blaugelbblindheit beobachtet werden können, mag dahingestellt bleiben.

Abweichungen von der Rayleighgleichung habe ich bisher niemals beobachtet.

Mit Pigmentfarben (Perimeterobjekten u. dergl.) lassen sich die gleichen Abweichungen vom Normalen feststellen, nämlich:

a) besonders blaue und violette, auch gelbe Farben können ihren Ton ändern, zuweilen schon bei Tageslicht, deutlicher bei herabgesetzter Beleuchtung, oder nachdem die Patienten sich im Dunkeln aufgehalten haben.

Je nach dem Grade der Störung können so selbst größere blaue und violette Scheiben (10 cm Durchmesser und darüber) grün gesehen werden, zuweilen nur Objekte (Perimeter) von 5 mm Durchmesser und darunter. Auch werden sie als schwarz bezeichnet (Krienes 21). Gelb wird rötlich bis rosa, Grün kann als grau gesehen werden.

b) Die Unterscheidungsfähigkeit für farbige Felder (z. B. verschiedene Töne farbiger Papiere) ist besonders bei herabgesetzter Beleuchtung geringer als normal.

c) Es besteht eine geringere Empfindlichkeit für alle Farben, besonders für Blau. Hier sind größere Reize notwendig als für den Normalen, auch bei Tageslicht. Zum Nachweis bedient man sich der quantitativen Untersuchungsmethoden, z. B. der Bestimmung der kleinsten Netzhautbilder oder der geringsten Sättigung, die eben noch einen farbigen Eindruck hervorruft (z. B. Wolffbergsche Methode S. 229). So erfolgt die Erkennung roter und blauer Scheibchen, besonders der letzteren, erst in größerer Annäherung als beim Normalen (Beispiele siehe Krienes 21).

Funktionsstörungen im stäbchenfreien Netzhautbezirk. Um den stäbchenfreien Bezirk der Netzhaut zu prüfen, sind bei der Schwierigkeit rein fovealer Fixierung besonders bei abnehmender Beleuchtung besondere Maßnahmen erforderlich. Auch hier ist festgestellt worden, daß die stäbchenfreie Netzhaut für lichtschwache farbige Reizlichter erheblich weniger empfänglich ist, als normaler Weise (Hess 22).

Die subjektiven Farbensinnstörungen treten gewöhnlich gegenüber der hochgradigen Nachtblindheit weit in den Hintergrund. Oft klagen die Patienten, daß sie besonders bei beginnender Dämmerung blaue Gegenstände lebhaft grün sehen, z. B. die Briefkästen oder die Anstaltskleidung der klinischen Patienten.

Überhaupt begleitet subjektives Farbensehen nicht selten die Hemeralopie. Am häufigsten ist das Auftreten der typischen Erythropie (s. Blendungserythropie S. 204) besonders bei eintretender Dämmerung oder beim Betreten halbdunkler Räume (Krienes 20); auf ihr häufiges Zusammengehen mit Adaptationsstörungen wurde schon hingewiesen.

Auch über Grünsehen, das ja die Erythropie häufig begleitet, habe ich klagen hören; es trat bei Morgen- und Abenddämmerung lebhaft und störend auf[1]. Daß in den Fällen, bei denen die akute Hemeralopie durch Ikterus bedingt ist, auch das entsprechende Gelbsehen auftreten kann, ist ja leicht begreiflich.

Sämtliche Farbensinnstörungen verschwinden vollkommen mit Aufhören der Erkrankung.

Retinitis pigmentosa

(und Retin. pigm. sine pigmento, Retin. punctata albescens).

Bei diesen Formen bleibt in typischen Fällen bekanntlich das zentrale Sehvermögen lange Zeit normal, wenn man von anderen Ursachen einer Herabsetzung absieht (z. B. Cataracta corticalis posterior).

Dem entspricht auch der foveale Farbensinn. Man findet in diesem Stadium keinerlei Zeichen einer Rotgrünblindheit oder Blaublindheit, wenn man am Perimeter, mit pseudoisochromatischen Proben oder mit der Rayleighgleichung untersucht.

Blaublindheit wird zwar von Schmidt-Rimpler erwähnt, jedoch ohne nähere Angaben. Auch Treitel (3) sah einen Fall, der aber mit Chorioiditis (s. d.) kompliziert war.

[1]) Über theoretische Schlußfolgerungen s. Abschnitt IV.

Dagegen kann man die gleichen Störungen beobachten, wie sie bei der akuten Hemeralopie vorkommen, wenn auch nicht immer in so hohem Grade, nämlich *die geringere Empfindlichkeit für alle Farben, besonders aber für kurzwellige* (z. B. blaue).

Benutzt man z. B. als quantitative Untersuchung die Methode des kleinsten Netzhautbildes, so ist besonders bei blauen Objekten eine größere Annäherung wie normal erforderlich, damit sie farbig erkannt werden (über ihre spezifische Schwelle treten). Das zeigt sich besonders, wenn man bei herabgesetzter Beleuchtung untersucht. Kleine blaue Scheiben verlieren auch im Fixierpunkt (also entsprechend dem stäbchenfreien Bezirk der Netzhaut) beträchtlich frühzeitig ihren Farbenton (*Hess* 22). Natürlich macht sich bei herabgesetzter Beleuchtung schon in geringer Entfernung von der Fovea zentralis außerdem noch der Ausfall des Dämmerungssehens (des *Purkinje*schen Phänomens) bemerkbar.

So ließ *Hess* (22) von einer Patientin (Sehvermögen = ½) ein farbiges Spektrum betrachten. Wie bei der akuten Hemeralopie wurde bei größerer Lichtstärke Rot, Gelb, Grün und Blau noch unterschieden und am violetten Ende das Spektrum verkürzt gesehen. Bei weiterer Herabsetzung der Lichtstärke nahm die Farbensinnstörung zu, es wurde nur noch das Rot gesehen, und auch dieses verschwand bereits bei einer Helligkeit, wo es der Normale noch deutlich rot sah.

Sinkt die zentrale Sehschärfe in schweren Fällen, so treten auch deutliche Farbensinnstörungen bei Tagesbeleuchtung auf. Sie scheinen der erworbenen Rotgrünblindheit zuzugehören, doch sind noch genaue Untersuchungen, vor allem mit spektralen Mischungsgleichungen sehr wünschenswert.

Beispiel: Retinitis pigmentosa, rechts S = $^1/_{10}$, links S = $^1/_6$. Auf beiden Augen wurden am *Nagel*schen Farbengleichungsapparat völlige Gleichungen zwischen Rot, Gelb und Grün unter einander angenommen, während Blau niemals eine Gleichung ergab, sondern gegenüber den anderen Farben immer als blau gegenüber gelblich erkannt wurde.

Was die *peripheren Gesichtsfeldgrenzen* anlangt, so ist die typische Gesichtsfeldstörung bei Retinitis pigmentosa ein *Ringskotom* wechselnder Breite und Lage (*Köllner* 24, *Wilbrand* und *Sänger* 25), das bald nur noch den zentralen Gesichtsfeldteil übrig läßt in Gestalt einer reinen hochgradig konzentrischen Einengung.

In diesen Teil fallen dann die Grenzen für farbige Objekte meist mit denen für Weiß nahezu zusammen. Läßt das Ringskotom aber noch einen größeren peripheren Gesichtsfeldteil für Weiß übrig, so wird häufig in diesem nur noch ein kleiner Bezirk für das rote und gelbe Objekt nachweisbar; für das grüne Objekt

reichen schon normaler Weise die Grenzen nicht so weit peripher hinaus, die Grenzen für Blau andererseits können infolge Ausfalls des Purkinjeschen Phänomens hinter denen für Rot zurückbleiben (s. auch unter Hemeralopie). Dieses Verhalten zeigt sich in gewissem Grade schon bei Tageslicht, stärker natürlich bei abnehmender Beleuchtung.

Die subjektiven Farbensinnstörungen treten wieder hinter denen der hochgradigen Nachtblindheit weit zurück.

Seltener werden Photopsien in Gestalt von Funkensehen oder Flimmern beobachtet (Leber, Wilbrand und Sänger 25).

Ablatio retinae.

Die Netzhautablösung wurde von jeher als dankbares Objekt zur Untersuchung von Funktionsstörungen benutzt; und sie hat in der Tat etwas Bestechendes, da sie stets eine sicher lokale, wenig komplizierte Erkrankung des Auges darstellt.

Jede Ablösung wird von Störungen des Farbensinnes begleitet, die man zunächst entsprechend der abgelösten Partie der Netzhaut suchen wird.

a) Da die Ablatio meist peripher gelegen ist und weit nach vorn reicht, findet man in der Regel eine **Einengung der Gesichtsfeldgrenzen für Farben,** auch wenn bei guter Helladaptation, also bei guter Tagesbeleuchtung untersucht wird.

In der abgelösten Netzhautpartie erlöschen die Funktionen bekanntlich durchaus nicht sofort völlig. Daher sind die Gesichtsfeldgrenzen für weiße Objekte oft längere Zeit noch normal, oder sie können nach vorhergehender Einschränkung wieder normal werden, trotzdem die Ablösung noch weiter fortbesteht. Im Gegensatz dazu macht sich meist sehr bald ein Gesichtsfeldausfall für farbige Objekte bemerkbar. Dabei behalten die Farben oft die Reihenfolge bei, die sie bereits normaler Weise inne hatten, d. h. bei den gewöhnlichen Perimeterobjekten fällt Grün zuerst aus, Blau zuletzt. Nicht selten kommen gleichzeitig Störungen im Sinne einer Blaublindheit (S. 239) vor, indem Blau und Grün verwechselt werden oder das blaue Objekt grün genannt wird, wie es ja bei der Blaublindheit die Regel bildet (Treitel fand es unter 23 Fällen 6 Mal).

In anderen Fällen wieder ist die Reihenfolge der Farben verändert: dann hat das blaue Objekt engere Grenzen als das rote, besonders wenn die Beleuchtung herabgesetzt ist. Es handelt sich dabei um dieselbe Erscheinung wie bei der Hemeralopie. Auch in der abgelösten Netzhaut ist die Dunkeladaptation in der

Regel hochgradig gestört (Stargardt 35, 40, Lohmann 38a). Infolgedessen fällt die normale Helligkeitszunahme kurzwelliger Lichter weg und die Grenzen für Blau erscheinen eng. Auf diese Weise kann man schon bei mäßiger Beleuchtung ein „Sichkreuzen" der Grenzen für das blaue und rote Objekt usw. erhalten.

Die Grenzen für farbige Objekte bilden aber ebenfalls keinen sicheren Maßstab für die Ausdehnung einer Netzhautablösung, selbst nicht für das empfindlichste, das grüne Objekt; oft ist die Ablösung ausgedehnter als es nach den Farbengesichtsfeld scheint (Stargardt), besonders in frischen Fällen.

Die periphere Farbenempfindung leidet nun aber nicht nur entsprechend der ophthalmoskopisch sichtbaren Ablösung, sondern häufig sind die Farbengrenzen in ganzer Ausdehnung des Gesichtsfelds mehr oder weniger hochgradig konzentrisch eingeengt, besonders in länger bestehenden Fällen (Cantonnet 37, Köllner 38). Für die Reihenfolge der Farbengrenzen gilt dabei das eben Gesagte. Die Tonänderung des blauen Objektes in grün als Zeichen einer Blaublindheit kann sogar in dem ganzen erhaltenen Gesichtsfeld nachweisbar sein. Wahrscheinlich hat in diesem Falle die Netzhautabhebung bereits einen größeren Umfang angenommen, als es nach dem Spiegelbilde den Anschein hat.

Am längsten erhalten ist die Farbenempfindung in der Regel in demjenigen Teil des Gesichtsfeldes, in welchem auch normaler Weise der Farbensinn am höchsten entwickelt ist, in der Umgebung des Fixierpunktes.

Damit ist keineswegs gesagt, daß die Makulagegend an der Ablösung am längsten Widerstand leistet; schon wenn die Farbenempfindung überall nur in demselben Grade leidet, sinkt sie hier erst relativ spät unter die „Schwellenwerte", während das bei dem an und für sich schon rudimentären peripheren Farbensinn weit früher geschieht.

b) Und doch tritt gerade an der in diesem Sinne widerstandsfähigen Stelle des direkten Sehens ebenfalls häufig frühzeitig eine Farbensinnstörung auf, nämlich die erworbene **Blaublindheit.**

Ihre Symptome sind schon seit langem bei der Netzhautablösung beobachtet und mitgeteilt worden (Leber 27, Cohn 28, Treitel 3, Dimmer 30, Mauthner, Simon, Köllner u. a.). Diese zentrale Blaublindheit ist recht häufig. Man kann mit den gebräuchlichen Untersuchungsmethoden — oft genügt schon das Perimeter allein — ihre Symptome in etwa 80—90% aller Fälle nachweisen. Oft ist das Gesichtsfeld noch in größerer Ausdehnung erhalten, und die Blaublindheit tritt dann als zen-

trales Skotom von sehr wechselnder Größe — bis 20° Durchmesser und darüber — auf.

Man findet dabei häufig, daß der zentrale blaublinde Bezirk im Gesichtsfeld von der peripheren Gesichtsfeldstörung, die durch die Ablösung bedingt ist, durch eine Zone mit normalem Farbenunterscheidungsvermögen getrennt ist. Es besitzt somit auch bei der Netzhautablösung die Makulagegend des Auges eine erhöhte Vulnerabilität gegenüber den übrigen Netzhautstellen.

Das blaublinde Skotom pflegt nicht etwa ein konstantes Frühsymptom zu sein, in der Regel gesellt es sich vielmehr erst im weiteren Verlauf hinzu. In fortgeschritteneren Fällen ist es dann fast regelmäßig nachweisbar. Entsprechend dem flüchtigen Charakter der Blaublindheit kann das Skotom wieder völlig verschwinden und normaler Farbenempfindung Platz machen. In anderen Fällen wird es allmählich größer, bis schließlich — meist unter gleichzeitiger zunehmender Einengung der peripheren Farbengrenzen — das ganze noch erhaltene Gesichtsfeld ergriffen sein kann.

In einem Falle (38) beobachtete ich die Symptome der Blaublindheit in einem Skotom, das sich ringförmig um den Fixierpunkt herum erstreckte. Ich wurde dabei an das ringförmige Auftreten z. B. der Berlinschen Trübung am hinteren Augenpol erinnert, wie es Lohmann (36) erst kürzlich wieder mitgeteilt hat. Da auch bei der Berlinschen Trübung Blaublindheit beobachtet wird, kann man eine gewisse Ähnlichkeit kaum verkennen.

Schließlich treten in den deletär verlaufenden Fällen auch im Zentrum des Gesichtsfeldes noch weitere Farbensinnstörungen auf: Die beiden Farbentöne rot und grün, welche ja bei der erworbenen Tritanopie überhaupt nur noch unterschieden werden (vergl. S. 116) verblassen immer mehr. Schließlich werden nur noch die roten Objekte als „rötlich" oder „bräunlich" erkannt, alle übrigen Farben, auch das weiße Objekt, verschwimmen in einem helleren oder dunkleren „Graugrün" oder „Grünlichgrau". Dieser Befund wird bei ausgedehnten Ablösungen recht häufig angetroffen, in der Regel bereits bei hochgradiger Herabsetzung des Sehvermögens; er ist die Vorstufe zur totalen Farbenblindheit, bis zu welcher nur noch ein kleiner Schritt ist.

Man kann sich diesen Befund damit erklären, daß zu der Blaugelbblindheit allmählich eine erworbene Rotgrünblindheit hinzutritt und damit das Auge total farbenblind macht. Auch kann man sich vorstellen, daß die periphere Einengung für Grün, dann für Rot sich allmählich auch über das Zentrum des Gesichtsfeldes ausdehnt.

c) Meist ist die Ablösung von **subjektivem Farbensehen** begleitet. Im Anfang besonders im Dunkeln ist es oft ein schönes Violettsehen, das z. T. mehr als blauviolett, z. T. mehr als lila bezeichnet wird. Ob es stets vorhanden ist oder nicht, muß dahin-

gestellt bleiben. Jedenfalls gaben einzelne Patienten das Violettsehen erst auf Befragen an, zuweilen konnte ich überhaupt nichts darüber feststellen. Andere wiederum klagen über eine sehr lebhaft auftretende Farbe.

Häufiger und konstanter findet sich das Farbensehen in der Komplementärfarbe, nämlich Gelbgrün- oder Grünsehen (S. 213), wohl auch gleichzeitig mit dem Violettsehen. Der „grüne Schleier" vor den Augen ist eine konstante Klage der Patienten. Es fällt besonders beim Sehen auf weiße oder helle Gegenstände, z. B. gegen den bedeckten Himmel auf. Die Farbe wird zuweilen als gelb, meist als grün bezeichnet, dann stellt sie ein schwach gesättigtes, also „blasses" Gelbgrün dar. Man kann sich leicht davon überzeugen, wenn man auf dem Farbenkreisel die entsprechende Mischung herstellt. Am Perimeter wird dann das weiße Objekt entweder im ganzen Gesichtsfeld oder nur in einzelnen Teilen als grünlich oder bläulich bezeichnet.

Die Ursache des Grünlichsehens ist auf Absorptionserscheinungen durch die subretinale Flüssigkeit zurückgeführt worden. Auch die Verwechselung von Grün und Blau erklärt bereits Leber durch die Absorption der gefärbten Flüssigkeit. Die Möglichkeit besteht durchaus, da die Flüssigkeit auch die verschiedenen Schichten der Netzhaut zu durchtränken vermag, welche die Lichtstrahlen durchsetzen müssen. Immerhin ist es fraglich, ob die Erklärung ausreicht. Das Violett-Grüngelbsehen erinnert auch sehr an das Rotgrünsehen bei der Erythropie und das Violettgelbsehen bei der Santoninvergiftung. Weitere Untersuchungen werden zeigen müssen, ob es sich wirklich nur um einfache physikalische Vorgänge handelt.

Auch Erythropie vom Charakter der Blendungserythropie scheint zuweilen vorzukommen (1 Fall von Reuß 39).

Die zahlreichen anderen Erscheinungen von farbigem Licht- und Funkensehen usw. (Chromopien) usw. dürften größtenteils auf umschriebene Zerrungen der Netzhaut zurückzuführen sein (vergl. auch Leber 27).

Besteht eine angeborene Farbenblindheit (protanopisches oder deuteranopisches Farbensystem), so kann durch die hinzutretende erworbene Tritanopie schon frühzeitig eine totale Farbenblindheit entstehen, die ihre Ursache dann eben in einem Zusammentreffen angeborener und erworbener Farbenblindheit hat (ein Fall von König, vergl. auch S. 192 und S. 197).

Das Verhalten des Farbensinnes bei Wiederanlegung der Netzhaut ist verschieden. Von Wichtigkeit ist die Kenntnis, daß die Symptome der Blaublindheit zuweilen noch lange Zeit (König 32, Cohn 28), selbst Jahre lang (eigene Beobachtung) andauern, ebenso daß sie längere Zeit einer sichtbaren Ablösung vorausgehen können. Andererseits kann mit der Wiederanlegung auch die Farbensinnstörung verschwinden,

um bei erneuter Abhebung der Netzhaut wieder aufzutreten. (Einen derartigen Fall hat König (32) mit spektralen Mischungsgleichungen verfolgt.)

Die peripheren Gesichtsfeldgrenzen für farbige Objekte folgen den Schwankungen der Netzhautablösung zwar bis zu gewissem Grade und geben auch die Veränderungen der Ausdehnung genauer an als die Grenzen für Weiß, welche hierzu völlig unbrauchbar sind; immerhin sind sie für feinere Schwankungen ebenfalls kein zuverlässiger Anhaltspunkt, da der Gesichtsfelddefekt für farbige Objekte noch längere Zeit bestehen bleiben kann (Treitel).

Am genauesten scheint noch die Störung der Dunkeladaptation dem jedesmaligen Stande der Ablösung zu entsprechen (Stargardt 40). Man kann sich davon überzeugen, wenn man die Gesichtsfeldgrenzen bei herabgesetzter Beleuchtung aufnimmt (vergl. Fig. 26 und 27 S. 256). In Fällen von länger bestehender Netzhautablösung bleibt aber auch die Dunkeladaptation dauernd geschädigt.

Die diagnostische und prognostische Bedeutung der Farbensinnstörungen bei der Netzhautablösung braucht nicht überschätzt zu werden, um zu erkennen, daß eine sorgfältige Prüfung des Farbensinnes (und Lichtsinnes) zur Beurteilung des Falles oft unentbehrlich ist. Denn nur so sind die feineren Funktionsschwankungen des Auges nachzuweisen. Die Aufnahme der Gesichtsfeldgrenzen für weiße Objekte bei Tageslicht dagegen hat gerade bei der Netzhautablösung nur ganz geringen Wert.

1. Um zu entscheiden, ob eine Netzhautablösung besteht oder nicht, bezw. ob eine Ablösung sich angelegt hat, sollen daher die Gesichtsfeldgrenzen bei Tageslicht für Farben (besonders Grün und Blau) und bei herabgesetzter Beleuchtung für Weiß geprüft werden. Außerdem ist eine Untersuchung im direkten Sehen auf ein blaublindes Skotom wünschenswert. Hierfür genügt bereits eine sorgfältige und einwandsfrei ausgeführte Perimeteruntersuchung.

a) Sind die Gesichtsfeldgrenzen für Weiß normal und der Einblick mit dem Augenspiegel etwa infolge Trübungen der brechenden Medien beeinträchtigt, so kann eine teilweise Einschränkung peripherer Grenzen für farbige Objekte (besonders für Grün oder Blau) Aufschluß geben.

Normale Farbengrenzen sind jedoch kein Beweis für das Fehlen einer Ablösung; denn erstens kann besonders in frischen Fällen

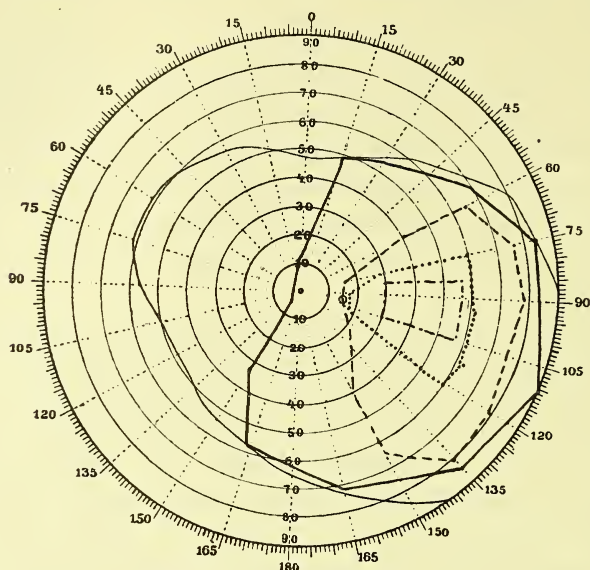


Fig. 26.

Ablatio retinae. Aufnahme bei Helladaptation im Zimmer:

———— = Grenze für weisse Objekte 20 mm

— — — = ,, ,, blaue ,, 20 mm

·········· = ,, ,, rote ,, 20 mm

—·—·— = ,, ,, grüne ,, 20 mm

Die Ausdehnung der Ablösung wird nicht durch die Grenzen für Weiss, sondern annähernd durch die für Blau markiert.

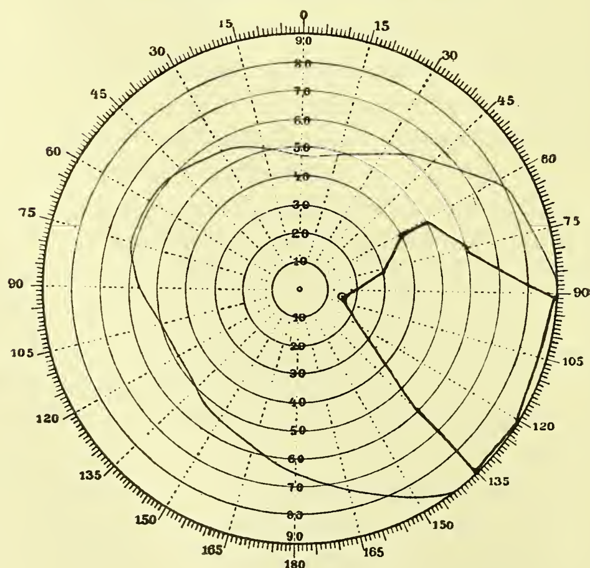


Fig. 27.

Derselbe Fall, Aufnahme bei herabgesetzter Beleuchtung.

———— = Grenze für weisse Objekte 20 mm

die Netzhaut bereits trotzdem abgelöst sein. Zweitens sind die normalen Grenzen für die gebräuchlichen farbigen Perimeterobjekte überhaupt nicht ausgedehnt genug, um gerade die peripher gelegenen beginnenden Ablösungen damit aufzufinden.

Mehr leistet daher häufig der Nachweis einer partiellen Adaptationsstörung der Netzhaut, indem man das Gesichtsfeld für Weiß bei herabgesetzter Beleuchtung untersucht. Auf diese Weise entdeckt man zuweilen einen ganz bedeutenden Gesichtsfeldausfall, welcher bei der Untersuchung bei Tageslicht entgangen wäre.

Ein feines Reagens stellt zuweilen ein Symptom der Blaublindheit dar, nämlich die Tonänderung des blauen Objektes in Grün in der Peripherie des Gesichtsfeldes. Ich habe sie noch zwischen zwei Anfällen von Netzhautablösung beobachtet, trotzdem sonst die peripheren Farbengrenzen, das Dunkelgesichtsfeld für Weiß und der Augenhintergrund normal erschienen.

b) Der Nachweis eines zentralen blaublinden Skotoms (Symptome S. 239)[1]) ist stets ein Warnungszeichen; denn es zeigt an, daß nach einer Wiederanlegung einer Netzhautablösung noch nicht alles in Ordnung ist, und daß in den Fällen, welche zur Ablösung neigen, etwa hohe Myopien, dem Auge eine Ablösung drohen kann.

2. Der Verlauf einer Ablösung und ihre Schwankungen werden auf die gleiche Weise bestimmt, d. h. nicht durch Bestimmen der Gesichtsfeldgrenzen für Weiß bei Tageslicht, sondern erstens durch Feststellung der Grenzen für farbige (bezw. grüne) Objekte, zweitens durch Aufnahme des Gesichtsfeldes für Weiß bei herabgesetzter Beleuchtung.

Die erstere Methode hat den Vorteil, daß sie etwas weniger abhängig von dem Adaptationszustande und damit von der Beleuchtung des Untersuchungsraumes ist. Sie eignet sich aber nur bei Ablösungen, welche mehr nach dem hinteren Pol zu reichen. Das Dunkel-Gesichtsfeld ist auch bei peripher gelegenen Ablösungen anwendbar, doch muß dafür gesorgt werden, daß bei wiederholten Untersuchungen der gleiche Adaptationszustand gewahrt bleibt, da die Ergebnisse sonst nicht verglichen werden können.

Retinitis albuminurica.

In der Mehrzahl der Fälle besteht eine ausgesprochene und charakteristische Farbensinnstörung, zumal ja gerade die Makula lutea mit Vorliebe befallen ist, nämlich die Symptome der Blaublindheit (S. 239), die meist frühzeitig und in sehr ausgesprochener Weise auftreten (Beobachtungen von Mauthner 41, Simon 43, Gerhard 44, Collin und Nagel 48 u. a.).

[1]) Oder auch Klagen über das Sehen eines „grünlichen Fleckes“!

Das dichromatische System der erworbenen Tritanopie (Blaugelbblindheit) wurde mit spektralen Mischungsgleichungen (vergl. S. 128) von König (32) in 2 Fällen und von mir in einem nachgewiesen.

Damit vereint tritt auch häufig das charakteristische Sehen farbiger Flecke im Gesichtsfeld auf, meist wiederum im Zentrum des Gesichtsfeldes.

Der gesehene Farbenton ist in keiner Weise konstant, er kann, selbst von demselben Patienten, abwechselnd als rot, grün, gelb, blau usw. bezeichnet werden (Hilbert). Am häufigsten wird über Gelbsehen (Hilbert, Yamagouchi u. a.) und Grünsehen (Knies, Rynkerk u. a.) geklagt, seltener über Blausehen (Hilbert u. a.) oder Violettsehen in verschiedenen Tonschattierungen. Dabei kann derselbe Patient je nach der Beleuchtung, z. B. im Hellen und im Dunkeln sein farbiges Skotom in verschiedenen, geradezu komplementären Tönen sehen (so in einem Falle Yamagouchis im hellen grüngelb, im dunkeln Zimmer rötlich). Man denkt dabei sofort an das kontrastierende Verhalten des Farbensehens bei der Erythropie (S. 206) und bei der Santoninvergiftung (S. 209).

Auch die übrigen subjektiven Klagen entsprechen meist völlig denen der Blaublindheit z. B. das Grün- oder Schwarzsehen blauer Gegenstände, wie Blumen usw. (s. S. 241).

Welche anatomischen Prozesse es sind, welche den Symptomenkomplex der Violett- bezw. Blaublindheit herbeiführen, ist schwer zu entscheiden. Am meisten kommt jedenfalls das Ödem der Netzhaut dafür in Betracht, weniger die weißen Degenerationsherde, bei denen zuweilen trotz ausgeprägter Sternfigur sich keine Farbensinnstörung nachweisen läßt.

Übrigens hält die Ausdehnung der Blaublindheit im Gesichtsfeld durchaus nicht immer mit der Ausdehnung der ophthalmoskopisch sichtbaren Veränderungen gleichen Schritt, sie bleibt vielmehr häufig auf die Gegend um den Fixierpunkt beschränkt. Die Makulagegend besitzt in dieser Hinsicht auch hier wieder gleichsam eine erhöhte Vulnerabilität, wie auch bei anderen Erkrankungen der Netzhaut (s. Ablatio retinae, Retinitis specifica).

Weitere Farbensinnstörungen im Sinne einer progressiven Rotgrünblindheit kann man zuweilen bei langbestehenden Neuritiden des Sehnerven beobachten, desgleichen bei Ernährungsatrophien infolge Endarteritis der Netzhautgefäße.

Auch die geringe Empfindlichkeit für farbige Reize bei der Untersuchung mit quantitativen Methoden (Wolffberg), welche bei der Hemeralopie beobachtet wird, trifft man nicht selten.

Man bedenke nur noch, daß die verschiedenen hier angedeuteten Symptome sich in mannigfachem Grade kombinieren können und begreift dann, daß oft die Analyse einer Farbensinnstörung höchst schwierig und ohne Zuhülfenahme quantitativer Untersuchungen mit spektralen Mischungsgleichungen (Aichungen)

unmöglich werden kann. In der Regel wird jedoch das Bild von den Symptomen der Blaublindheit beherrscht.

Die diagnostische Bedeutung der Farbensinnstörung bei der Retinitis albuminurica deckt sich danach im wesentlichen mit derjenigen der Blaublindheit überhaupt: ihr Vorhandensein macht eben nur das Vorliegen eines exsudativen Prozesses innerhalb der Netzhaut wahrscheinlich, ihr Fehlen dagegen beweist garnichts.

Die Farbensinnprüfung gewinnt aber dadurch an diagnostischem Wert, daß sie bereits nachweisbar sein kann, noch bevor der Augenspiegel einen Anhaltspunkt für eine Retinitis albuminurica gibt (Simon 47). Da auch das zentrale Sehvermögen dabei völlig normal sein kann (S. 242), so stellt die Blaublindheit in derartigen Fällen das früheste und einzigste Symptom dar.

Retinitis diabetica.

Die Störungen des Farbensinns ähneln durchaus denen bei der Retinitis albuminurica.

Man findet demnach oft bei noch gut erhaltenem Sehvermögen am häufigsten zentrale oder parazentrale Skotome, innerhalb deren sich eine Blaublindheit nachweisen läßt.

Beispiel: Retinitis diabetica, S = ½. Am Perimeter zentrales Skotom von 5°, in welchem blaue Objekte grün und gelbe gelbweiß gesehen werden. Grüne und blaue farbige Gläser erscheinen vollkommen gleich (am Nagelschen Farbengleichungsapparat). Bei der spektralen Rayleighgleichung muß der Patient erheblich mehr Rot zum Rotgrüngemisch hinzufügen, wie der Normale (am Anomaloskop von Nagel ca. 10 Teilstriche über die Einstellung des Normalen, vergl. S. 133).

Diese charakteristische Einstellung der Rayleighgleichung (vermehrte Hinzufügung von Rot zum Rotgrüngemisch) kann auch fehlen, trotzdem blaue Pigmentfarben = grün, Gelb = weiß gesehen werden (2 Fälle beobachtet).

Je nach der Beteiligung des Sehnerven und seines papillomakularen Bündels kann sich ein zentrales Skotom mit erworbener Rotgrünblindheit in ihren verschiedenen Graden hinzugesellen.

Retinitis specifica.

Es bestehen fast ausnahmslos ausgesprochene Farbensinnstörungen, wie sie für derartige exsudative Erkrankungen charakteristisch sind, d. h. sie gleichen im wesentlichen denen bei der Retinitis albuminurica, Ablatio retinae usw.

Die peripheren Gesichtsfeldgrenzen für farbige Objekte können mit denen des Normalen noch übereinstimmen, doch sind sie auch mehr oder weniger unregelmäßig

konzentrisch eingeengt (Wilbrand und Sänger u. a.). In letzterem Falle nimmt die Einengung meist mit abnehmender Beleuchtung zu, ähnlich wie bei der Hemeralopie (s. S. 245), infolge der gleichzeitigen Beeinträchtigung des Dunkeladaptationsvermögens. In welchem Grade der periphere Farbensinn leidet, hängt ganz von dem Grade der Ausbreitung der Retinitis ab.

Die Prüfung des zentralen (makularen) Farbensinnes ergibt in der Regel in geradezu klassischer Weise wiederum die Erscheinungen der Blaublindheit (Knies 52, Simon u. a.) Daher findet man sowohl am Perimeter, mit pseudoisochromatischen Proben, bei der Rayleighgleichung, mit Untersuchung bei herabgesetzter Beleuchtung usw. fast alle S. 239 aufgezählten Symptome der Blaublindheit nebeneinander vor.

Das dichromatische System der erworbenen Tritanopie wurde mit spektralen Mischungsgleichungen in zwei Fällen nachgewiesen (König 32, Köllner 53). Zu Aichungen derartiger Systeme dürften sich die Fälle mit Retinitis specifica gut eignen, da hier ziemlich sicher ein dichromatisches System vermutet werden kann.

Auch das subjektive Farbensehen ist häufig und entspricht in der Regel der Blaublindheit. Abgesehen von den verschiedensten Chromopien, die im Anfang auftreten können, sowie von Flimmern, das etwa dem bei Aderhauterkrankungen entspricht (s. S. 262) wird am konstantesten über Grünsehen (vergl. Knies 52 u. a.) oder Bläulichsehen geklagt. Über das veränderte Sehen farbiger, besonders blauer Gegenstände ist S. 121 u. 241 das notwendige gesagt.

Die erhöhte Vulnerabilität der Makulagegend für die Farbensinnstörung gegenüber den benachbarten Netzhautteilen ist hier oft besonders deutlich; trotz ausgedehnter gleichmäßiger Netzhauttrübung im Augenspiegelbilde ist die Funktionsstörung dann nur in einem kleinen zentralen Skotom nachweisbar.

Beispiel: Doppelseitige Retinitis specifica mit einer hochgradigen typischen gleichmäßigen Trübung der Netzhaut bis weit in die Peripherie. Das Sehvermögen betrug $^1/_{20}$ und $^1/_6$ des Normalen. Am Perimeter wurde nur in einem zentralen Skotom von 2—3° Durchmesser das blaue Pigment als dunkelgrün, das grüne als hellgrün, Gelb als weiß und Rot als etwas dunkelrot bezeichnet. An Farbengleichungsapparaten mit in der Helligkeit veränderbaren farbigen Gläsern konnten mit Leichtigkeit Scheingleichungen zwischen Blau und Grün erhalten werden. Bei der Rayleighgleichung war eine vermehrte Zumischung von Rot zum Rotgrüngemisch notwendig (etwa 10 Teilstriche am Anomaloskop Nagels). Der Patient sah ständig einen blauen Schleier vor Augen.

Bei gleichzeitiger Beteiligung des Sehnerven bezw. seines papillomakularen Bündels kann eine weitere Beeinträchtigung des Farbensinnes erfolgen. Es gesellen sich Störungen im Sinne

einer erworbenen Rotgrünblindheit hinzu, die sich mit der Tritanopie zu einer erworbenen totalen oder nahezu totalen Farbenblindheit ergänzen können.

Man findet dann ein zentrales Skotom, in dessen Bereich z. B. farbige Perimeterobjekte sämtlich vollkommen farblos erscheinen können. Je nach dem Grade der erworbenen Rotgrünblindheit (vergl. S. 141 ff.) werden nur kleinere (z. B. 5 mm große) farbige Quadrate, oder auch größere (z. B. 20 mm große) vollkommen farblos, grau wahrgenommen. Im ersteren Falle werden die größeren Objekte nur verschleiert, schmutzig, ungesättigt gesehen (vergl. 1 Fall von Treitel, ferner 1 Fall von Köllner 53, mit spektralen Mischungsgleichungen quantitativ untersucht).

Commotio retinae.

Nur wenn die Commotio retinae die Makulagegend betroffen hat, hat eine Störung des Farbensinnes praktisches Interesse und ist auch nur dann einer genaueren Untersuchung zugänglich.

Auch bei der Commotio können wiederum die Symptome der Blaublindheit auftreten (1 Fall von Collin und Nagel [54], sowie eine eigene Beobachtung bei normalem Sehvermögen).

Andererseits konnte ich in einem ganz frischen Falle von deutlich sichtbarer Commotio, welche gerade die Makula einnahm, keine Abweichung der Farbenempfindung von der des anderen normalen Auges nachweisen.

Bei diesem Patienten ergab die Untersuchung am Perimeter, am Haitzschen Apparat, mit dem Farbengleichungsapparat und mit der Rayleighgleichung normale Verhältnisse. Das Sehvermögen betrug noch $^1/_3$ des Normalen. Höchstens erschien im Bereiche eines kleinen zentralen Skotoms das grüne Plättchen des Haitzschen Apparates dem kranken Auge eine Spur „blasser, fast rötlicher" als dem gesunden.

Retinitis sympathica

und andere Formen der Netzhautentzündung.

Es ist zwecklos, alle Formen von Netzhautherden und Exsudaten einzeln aufzuzählen, umso mehr, als sich in der Hauptsache immer wieder das gleiche Bild der Farbensinnstörung wiederholt: unabhängig von der Sehschärfe auftretende Symptome der Blaublindheit wie sie S. 239 geschildert wurden, mit den hervortretenden subjektiven Erscheinungen des Sehens grüner (gelblichgrüner) oder blauer (bezw. violetter) Flecke bezw. Skotome im Gesichtsfelde.

Derartige Fälle verschiedener Ätiologie sind beschrieben von Treitel, Mauthner, Bayer u. a. Das dichromatische System der erworbenen

Tritanopie wurde mit spektralen Mischungsgleichungen nachgewiesen von König (32) und Köllner (S. 131, Fall VI) an je einem Fall.

Das Gleiche gilt von der sympathischen Netzhauterkrankung, mag sie primär sein oder auf sekundärer Beteiligung der Netzhaut bei Neuritis oder Chorioiditis etwa in Gestalt eines kollateralen Ödems beruhen.

Hier hat die Farbensinnstörung besonders dann diagnostische Bedeutung, wenn infolge gleichzeitiger Glaskörpertrübungen der Einblick mit dem Augenspiegel erschwert ist und man auf die Funktionsstörungen angewiesen ist. Denn die Symptome der Blaublindheit können, wie wir sehen, vorhanden sein, noch bevor das Sehvermögen nachweislich gestört ist. Zwei derartige Fälle konnte ich beobachten (z. B. S. 131, Fall VII). Das stets sehr verdächtige Sehen grüner Flecke im Gesichtsfeld bei sympathischer Ophthalmie wird auch von anderer Seite mitgeteilt (Williams).

Aderhauterkrankungen.

Die Farbensinnstörungen bei den Erkrankungen der Aderhaut sind vollkommen unabhängig von deren Ursache. Lage und Ausdehnung der Krankheitsherde oder genauer die Mitbeteiligung der Netzhaut sind einzig und allein für die Funktionsstörungen maßgebend.

In frischen Fällen sind die Störungen des Farbensinnes noch ziemlich konstant. Es finden sich wieder mehr oder weniger ausgesprochen die Symptome der Blaublindheit (S. 239), wenn man mit dem Perimeter oder mit pseudoisochromatischen Proben untersucht. Bei Anwendung der Rayleighgleichung findet man auch hier häufig die charakteristische vermehrte Zumischung von Rot zum Rotgrüngemisch. Dazu kommt oft das bekannte lebhafte, fleckförmige Violett- und Grünsehen im Gesichtsfeld[1]).

---

[1]) Zu den störendsten subjektiven Erscheinungen gehört besonders im Anfang der Aderhauterkrankungen das bekannte Flimmern, das die Patienten oft sehr belästigt. Es entspricht im allgemeinen im Gesichtsfelde dem Skotom, das durch den Aderhautherd bedingt wird. Es wird zuweilen beschrieben, als ob bläuliche oder rötliche, auch gelbe Fleckchen hin- und herzittern, ähnlich wie das Flimmern der Luft über heißen Gegenständen. Ganz charakteristisch teilen fast alle Patienten mit, daß das Flimmern besonders stark auftritt, wenn sie ihren Adaptationszustand wechseln, d. h. von einem dunklen Raum ins Helle treten und umgekehrt. Auch die Herzaktion und ihre Wirkung auf die Aderhautzirkulation scheint einen Einfluß auf die Stärke auszuüben (Forster). Das Flimmern ist in gewisser Hinsicht von Bedeutung, denn es zeigt auch bei sonst normalen Funktionen an, daß eine Erkrankung noch fortbesteht oder im

Beispiele: a) Frische Aderhautentzündungen dicht neben der Makula, Sehvermögen noch normal. Es besteht eine Andeutung von blaublinden Symptomen, die nur zu verwerten sind, weil ein Vergleich mit dem gesunden Auge einen einwandfreien Unterschied ergibt. Am Perimeter keine Farbensinnstörung. Die Rayleighgleichung ist nicht zu verwerten, weil der Patient anomaler Trichromat ist (deuteranomaler), er braucht mit beiden Augen mehr Grün zum Rotgrüngemisch als der Normale (vergl. S. 52). Nur am Nagelschen Farbengleichungsapparat wird zwischen dem grünen und blauen Objekt eine Gleichung angenommen, und Gelb wird bei der Rotgelb-Einstellung violett genannt. Mit dem gesunden (aber auch deuteranomalen) Auge fehlt diese Angabe konstant.

b) Frische Aderhauttuberkulose des linken Auges, Sehvermögen $^1/_{10}$. Farbenempfindung: Am Perimeter werden zentral blaue Objekte grünlich genannt, Grün und Gelb werden etwas weißlicher gesehen, Rot unverändert. Mit dem Nagelschen Farbengleichungsapparat ergibt sich kein deutlicher Unterschied zwischen beiden Augen. Bei der Rayleighgleichung braucht das erkrankte Auge erheblich mehr Rot zur Rotgrünmischung als das gesunde (am Anomaloskop 10 Teilstriche mehr).

In späteren oder überhaupt in schwereren Fällen macht das positive Skotom einem negativen Platz. Die Störung des Farbensinnes kann gleichzeitig zunehmen und alle Grade bis zum völligen Verluste der Funktionen, d. h. bis zum absoluten Skotom zeigen. Rote, gelbe und grüne Objekte werden gelblich bis weiß gesehen, bei Anwendung pseudoisochromatischer Proben werden Gleichungen zwischen diesen Farben erhalten, während kurzwellige Lichter noch lange als blau (violettblau) erkannt werden.

Beispiel: Myopie von 18,0 D. mit Makulaerkrankung: S = $^1/_{30}$. Zwischen Rot, Gelb und Grün werden Gleichungen untereinander angenommen (am Nagelschen Farbengleichungsapparat Prüfung dicht am Apparat); die Farben werden gelblich genannt. Dagegen wird das blaue Objekt stets lilablau genannt und ergibt mit keinem anderen farbigen Objekt zusammen Gleichungen.

Häufig ist das Bild aber infolge Kombination ein recht buntes, und nicht selten wird die Untersuchung schwierig, weil es sich um mehrere kleine siebartig aneinander liegende Herde handelt.

Das Sehen farbiger Flecke kann außerordentlich lebhaft werden. Sie finden sich sowohl peripher wie beim direkten Sehen. So klagte ein Patient jedesmal bei einem frischen Schub peripherer chorioiditischer Herde über lebhaftes Blauviolettsehen in den peripheren Gesichtsfeldteilen. In der Literatur finden sich zahlreiche verstreute Angaben über derartiges Sehen farbiger

Beginn ist. Zuweilen handelt es sich nur um kleine Degenerationsherde des Choriokapillaris und des Pigmentepithels, die dem Spiegel leicht entgehen, sich aber bei der Stäbchen- und Zapfenschicht bereits recht mißliebig machen können. Auch steht das Flimmern offenbar in gewissem Zusammenhang mit der Schwere der Erkrankung und kann einen Anhaltspunkt für den Verlauf bilden (Leber 1). Im atrophischen Stadium der Aderhautherde verliert sich auch das Flimmern wieder.

Flecke (Hilbert 55a, 55b, Chalupecki, Lans u. a.[1])). Auch Rotsehen (gelbrot) wurde beobachtet (Hilbert).

Die diagnostische und prognostische Bedeutung der Farbensinnstörung. Die Farbensinnprüfung ist besonders dann von Bedeutung, wenn Trübungen der brechenden Medien den Überblick über den Augenhintergrund erschweren.

Skotome, innerhalb deren die Symptome der Violett- oder Blaublindheit bestehen, sowie Klagen über das Sehen blauvioletter oder grüner Flecken deuten auf herdförmige frische Aderhautherde hin (genau genommen beweisen sie allerdings nur eine herdförmige Beteiligung der Netzhaut). Die Netzhautstellen, an denen Blaublindheit besteht (mit oder ohne Herabsetzung des Sehvermögens) können noch wieder funktionstüchtig werden, also auch die Fovea centralis.

Bestehen bei Aderhauterkrankungen Symptome, die im Sinne einer Rotgrünblindheit zu deuten sind, so handelt es sich meist bereits um eine Atrophie von Netzhautelementen, z. B. bei Arteriosklerose, Dehnungserscheinungen bei Myopie usw. Die Aussichten auf Wiederherstellung der Funktionen des Auges sind in diesen Fällen gering.

Sollten je Zweifel auftauchen, ob ein zentrales Skotom mit progressiver Rotgrünblindheit auf Aderhauterkrankung oder auf eine Erkrankung des papillomakularen Bündels des Sehnerven zurückzuführen wäre, so kann man die Prüfung der Dunkeladaptation bezw. die Aufnahme eines Gesichtsfeldes bei herabgesetzter Beleuchtung vornehmen. Im Falle einer Aderhauterkrankung dürfte die Dunkeladaptation stets erheblich gestört sein (vergl. auch Hillemanns 55).

C. Erkrankungen der Leitungsbahnen bis zur Hirnrinde.

Die Erregungsvorgänge, welche das Licht in der Netzhaut ausgelöst hat, werden durch die Sehbahnen dem Sehzentrum (s. u.) zugeführt. Zu diesen Sehbahnen gehört der Sehnerv von seinem retinalen Beginn an, das Chiasma, die Tractus optici, die primären Opticuszentren, vor allem die Corpora genic. ext. und die Sehstrahlung bis zur Rinde des Hinterhauptlappens.

Im allgemeinen liegen bei Läsionen dieser Bahnen die Verhältnisse für die funktionellen Störungen einfacher als innerhalb der Netzhaut, wo nicht nur die verschiedenen Erregungsvorgänge, sondern auch die Anfänge der Leitungsstörungen und nicht zum

[1]) S. auch unter Chromatopie.

wenigsten die verschiedenen physikalischen (Absorptions-) Erscheinungen sich kombinieren können.

Nach den bisherigen klinischen Beobachtungen muß als wahrscheinlich angenommen werden:

Die Störungen der Farbenempfindung bei Erkrankungen der Leitungsbahnen treten auf im Sinne einer erworbenen Rotgrünblindheit mit ihren verschiedenen Stadien (vergl. erworbene Rotgrünblindheit S. 141), möglicherweise in verschiedenen z. T. atypischen Formen. Völlig ohne Einfluß scheint dabei der Sitz der Herderkrankung innerhalb der Sehbahn sowie seine Natur, ob degenerativ oder entzündlich, zu sein.

Eine Blaugelbblindheit (Tritanopie) ist bis jetzt noch niemals einwandsfrei bei reinen Erkrankungen des Sehnerven, Chiasmas usw. festgestellt worden. Stets war entweder gleichzeitig die Netzhaut an dem Krankheitsprozeß beteiligt (bei der Neuritis nervi optici) oder die Tritanopie war höchstwahrscheinlich angeboren (vergl. Fall von Köllner S. 196).

Die Art der Farbensinnstörung würde demnach darauf hindeuten, daß in jedem Falle eine Herabsetzung der Leitungsfähigkeit der Sehbahnen auftritt, gleichgültig, ob eine Entzündung vorliegt oder ein atrophischer Prozeß. Man kann sich auch vorstellen, der Leitungswiderstand nimmt zu. Für das Verständnis ist es dabei ziemlich belanglos, ob man annehmen will, daß es sich um lauter in ihrer Funktion geschädigte Nervenfibrillen handelt, oder um kranke und völlig degenerierte, die mit gesunden nebeneinander abwechseln[1]).

Inwieweit eine Farbensinnstörung der Ausdruck einer möglichen erhöhten Leitungs- bezw. Leistungsfähigkeit des Sehnerven unter der Einwirkung pathologischer Reize sein kann, ist noch völlig unbekannt.

Schon infolge der Ähnlichkeit der erworbenen Rotgrünblindheit mit dem normalen peripheren Sehen kann man sie gewissermaßen als physiologische Degeneration der normalen Farbenempfindung bezeichnen. Als solche darf sie bei Erkrankungen der Leitungsbahnen, wie hier nochmals betont werden soll, lediglich als eine progressive Farbensinnstörung betrachtet werden, welche den normalen Farbensinn allmählich in die totale Farbenblindheit überführt, ja als Vorstufe der Erblindung. Erblindet ein Teil des Sehorgans infolge Leitungsstörungen, so scheint dies stets über den Weg der Rotgrünblindheit zu geschehen, wenn auch bei plötzlichen Unterbrechungen der Nachweis nicht zu gelingen braucht. Stellt sich dann allmählich das Sehvermögen her, so kehrt zuerst der Farbensinn als rotgrünblindes Stadium wieder, ehe er völlig normal wird. Daraus geht gleichzeitig hervor, daß die progressive Rotgrünblindheit keine selbständige, isoliert auftretende Farbensinn-

[1]) S. auch Wilbrand und Sänger (60a), S. 374.

störung darstellen kann, sondern häufig nur eine Teilerscheinung einer allgemeinen Funktionsstörung bildet, die annähernd parallel laufen muß mit den übrigen Funktionen, also Raumsinn (bezw. Sehschärfe) und Lichtsinn (oder Schwarzweißsinn).

Die allgemeine diagnostische und prognostische Bedeutung der Rotgrünblindheit für die Erkrankungen der Leitungsbahnen scheint demnach nicht sehr groß zu sein, da man ja den Grad einer Herabsetzung einer Leitungsfähigkeit augenscheinlich ebenso gut mit Prüfung der Sehschärfe oder vielleicht des Lichtsinnes feststellen kann?

Die Prüfung auf Rotgrünblindheit (noch besser, welcher Grad der Rotgrünblindheit vorliegt), ist jedoch in mehrfacher Hinsicht unentbehrlich, zumal wenn man auch ihre Ausdehnung im Gesichtsfeld und ihre Beziehungen zu den anderen Funktionsstörungen berücksichtigt.

1. Sie beweist zunächst, daß an irgend einer Stelle der nervösen Sehbahn eine Läsion stattgefunden hat. Das beweist die Herabsetzung der Sehschärfe allein noch nicht.

Gewiß wird ja am schnellsten und häufigsten der Grad der Funktionsherabsetzung durch Prüfen der Sehschärfe bestimmt.

Aber das Verfahren ist doch ein — ich möchte sagen — etwas rohes. Die Sehschärfeprüfung hängt von einer Reihe physikalischer, physiologischer und psychischer Momente ab, die unter Umständen die Untersuchung recht ungenau machen können. Hier ist die Prüfung des Farbensinnes ein viel sichereres Verfahren und zum mindesten eine unentbehrliche Kontrolluntersuchung. Vor allem können aber die ersten Anfänge der Funktionsstörung nur auf diese Weise sicher nachgewiesen werden, denn hierbei kann die Sehschärfe noch nahezu normal sein. Ja selbst wenn sie etwas herabgesetzt ist, so ist oft schwer zu entscheiden, ob die Ursache in Refraktionsanomalien wie Astigmatismus, oder in etwa gleichzeitig vorhandenen Trübungen der brechenden Medien, kurz in physikalischen Momenten zu suchen ist.

Bleibt noch der Lichtsinn (die Schwarzweißempfindung). Wir prüfen in derartigen Fällen die Lichtsinnstörung schon dadurch mit, daß wir in der bekannten Weise am Perimeter weiße Objekte nach dem Fixierpunkt zu bewegen. Ist der Lichtsinn z. B. nach dem Zentrum zu gestört, so wird an der entsprechenden Stelle das weiße Objekt dunkler, wir sprechen von einem relativen Skotom. Also die Prüfung mit weißen Objekten auf relative Skotome könnte für die Prüfung auf Rotgrünblindheit eintreten. In der Tat besteht dort, wo ein zentrales Skotom für „Rot und

Grün“ vorhanden ist, meist eine Lichtsinnstörung bezw. ein relatives Skotom für Weiß[1]). Aber es zeigt sich für jeden, der hier Vergleiche anstellen will, sehr bald, daß die Untersuchung auf Rotgrünblindheit, auf ein „Skotom für Rot und Grün“, wie es ja gewöhnlich heißt, viel zuverlässiger ist, als die Prüfung auf relatives Skotom „für Weiß“, besonders bei beginnender Funktionsstörung.

Genau die gleichen Verhältnisse finden wir wieder, wenn es sich um extrafoveale bezw. um periphere Störungen im Gesichtsfeld handelt. Hier fällt ja die Sehschärfeprüfung ganz fort und die Entscheidung, ob Farbensinn- und Lichtsinnprüfung zweckmäßiger ist, fällt aus den eben genannten Gründen meist zugunsten der ersteren aus.

2. In der gleichen Weise ist die Farbensinnprüfung den anderen Funktionsprüfungen meist überlegen, wenn es sich darum handelt, den Grad der Leitungsstörung zu bestimmen. Erforderlich ist dazu freilich eine Methode zur quantitativen Prüfung des Grades der progressiven Rotgrünblindheit, auf deren Aussichten und Schwierigkeiten S. 172ff. hingewiesen worden ist. Für klinische Zwecke ausreichend ist sie auch mit bescheidenen Mitteln zu erhalten.

3. Die Natur des zu Grunde liegenden Krankheitsprozesses kann ja freilich aus dem Vorhandensein der Farbensinnstörung nicht ersehen werden. Aber es bietet sich die Aussicht, bei einzelnen Abschnitten der Sehbahn das Verhältnis oder Mißverhältnis zwischen dem Grade der Rotgrünblindheit und den übrigen Funktionsstörungen, bes. der Sehschärfe mitzuverwerten.

Ist beispielsweise bei dem ophthalmoskopischen Bilde einer einfachen Sehnervenatrophie mit konzentrischer Gesichtsfeldeinengung ein erhebliches Mißverhältnis zwischen dem Grade der Rotgrünblindheit und der Sehschärfe vorhanden (über die Beziehungen beider s. S. 178), so spricht dieser Befund von vornherein gegen tabische Atrophie und mehr für einen entzündlichen Prozeß, z. B. Atrophie im Gefolge basaler Lues cerebri u. a. m. Näheres siehe bei den einzelnen Erkrankungen.

Bis zu einem gewissen Grade kann natürlich auch die Art des Gesichtsfelddefektes für die ätiologische Diagnose verwertet werden, d. h. ob Skotom für farbige Objekte oder periphere Einengung usw. Das geschieht in demselben Maße, wie überhaupt aus Gesichtsfelddefekten ein Schluß gezogen werden kann auf die Art der Herderkrankung.

4. Für die topische Diagnose, also um den Sitz der Erkrankung innerhalb der Sehbahn festzustellen, bietet die Art des Gesichtsfelddefektes, in welchem die Rotgrünblindheit auf-

[1]) Vergl. Beziehungen der Rotgrünblindheit zum Lichtsinn S. 181.

tritt, einen Anhalt (zentrales Skotom, einseitiger Quadrantenausfall usw. bei Läsion des Sehnerven, bitemporale Farbenhemianopsie bei Chiasmaerkrankungen, homonyme Farbenhemianopsie bei Affektion der zentraler gelegenen Bahnen).

Nur bei der homonymen Farbenhemianopsie kommt für die Frage, ob der Herd subkortikal oder kortikal sitzt, auch mit in Betracht, ob gleichzeitig mit der Farbensinnstörung Sehschärfe und Lichtsinn gestört sind oder nicht (s. später).

5. Die Prognose der Erkrankung. Man kann ganz allgemein der Rotgrünblindheit als solcher ohne weiteres nicht ansehen, ob nun wirklich die Erkrankung progressiv sein wird, ob totale Farbenblindheit und schließlich die Erblindung folgen, oder ob der Prozeß auf irgend einer Stufe stehen bleiben wird.

Umgekehrt braucht auch nicht jeder Erblindung infolge Leitungsstörung eine Rotgrünblindheit nachweisbar vorauszugehen. Der Vorgang kann sich plötzlich vollziehen, z. B. bei partieller oder völliger Durchtrennung des Sehnerven infolge Basisfraktur, oder doch so schnell, daß sich die Vorstufe der Farbenblindheit der Beobachtung entzieht, z. B. bei der akuten Myelitis, der multiplen Sklerose usw. Bei der Rückbildung des Prozesses, soweit er überhaupt besserungsfähig ist, kann dann aber oft der Nachweis geführt werden, daß umgekehrt wiederum die Rotgrünblindheit mit ihren verschiedenen Stadien durchlaufen wird.

Wichtig ist, daß die Rotgrünblindheit in keinem ihrer Stadien eine bleibende organische Läsion der Leitungsbahnen anzeigt. Sie kann sich jederzeit selbst im Stadium der totalen Farbenblindheit, ja der völligen Erblindung wieder zurückbilden, auf derselben Stufenfolge, auf der sie entstanden war. Ob wieder vollkommen normaler Farbensinn auftritt, oder ob die Funktionsstörung in irgend einem Grade dauernd bestehen bleibt, hängt nur von dem zu Grunde liegenden Prozeß ab und kann der Farbenblindheit von vornherein nicht angesehen werden. So weiß man, daß eine Rotgrünblindheit bei einer tabischen Sehnervenatrophie sehr bald zur völligen Erblindung führt, während z. B. bei einer Neuritis und ebenso bei einer Hemiachromatopsie infolge Apoplexie wieder normaler Farbensinn zurückkehren kann.

Dagegen ist es nicht selten möglich bei manchen Erkrankungen aus dem Verhältnis der Farbensinnstörung zur Sehschärfe usw. bestimmte prognostische Schlüsse zu ziehen, z. B. bei dem Rückgange von Intoxikationsamblyopien usw. (das bis jetzt Bekannte

s. unter Beziehungen zwischen Rotgrünblindheit und Sehschärfe S. 178).

Das „Farbengesichtsfeld" bei Erkrankungen der Leitungsbahnen (Technik s. Abschn. III).

Die Untersuchung der Ausdehnung der Rotgrünblindheit im Gesichtsfeld prüft man klinisch nach wie vor am besten mit dem Perimeter oder ähnlichen Apparaten in Gestalt des Farbengesichtsfeldes. Dessen Aufnahme ist in jedem Falle unerläßlich; denn

1. ist die Art des Gesichtsfeldausfalles für die topische Diagnose maßgebend,

2. in der Peripherie des Gesichtsfeldes ist die Prüfung auf Rotgrünblindheit die bequemste Methode, eine beginnende Herabsetzung der Funktionen des Sehorgans festzustellen,

3. ist zuweilen ein partieller „Farbendefekt" im Gesichtsfeld differentialdiagnostisch wichtig, um die Möglichkeit angeborener Rotgrünblindheit auszuschließen (vergl. S. 108),

4. lassen sich die allerersten Anfänge einer progressiven Rotgrünblindheit mit Sicherheit meist nur dadurch feststellen, daß man die Farbenempfindung auf gesunden und erkrankten Partien miteinander vergleicht (vergl. S. 168).

Da die progressive Rotgrünblindheit in ihren Symptomen dem peripheren Sehen des Normalen gleicht (S. 186), so ist wie auch hier in jedem Fall die Größe der farbigen Perimeterobjekte von Einfluß auf die Größe des Defektes.

Ebenso kann sich die Rotgrünblindheit in der Gesichtsfeldperipherie nur dadurch äußern, daß die Grenzen für farbige Objekte in der gleichen Reihenfolge wie normal eingeengt werden, also bei der gewöhnlichen Versuchsanordnung für Grün am engsten, für Blau am weitesten bleiben. (Über die Bedeutung von Unregelmäßigkeiten in der Reihenfolge der Farben sowie des „Sichkreuzens" der Farbengrenzen s. Abschnitt III).

Die verschiedenen Formen der Gesichtsfelddefekte.

Da, wie gesagt die Rotgrünblindheit als eine Vorstufe zum völligen Funktionsausfall des Sehorganes aufgefaßt werden muß, so kann auf die verschiedenen Typen der Gesichtsfeldstörung für weiße Objekte zurückgegriffen werden. Man unterscheidet demnach auch bei der progressiven Rotgrünblindheit 4 verschiedene Haupttypen des Gesichtsfeldausfalles, nämlich

a) konzentrische Einengung,
   α) als Ausdruck gleichmäßiger Herabsetzung der Funktionen im ganzen Querschnitt des Sehnerven (vergl. S. 272),
   β) als Ausdruck der isolierten Erkrankung an der Peripherie des Sehnerven gelegener Fasern,
b) sektorenförmige Ausfälle,
c) Skotome, besonders zentral gelegene (vergl. S. 279),
d) hemianopische Defekte (Einengungen der peripheren Grenzen und hemianopische Skotome),
   α) bitemporal gelegene bei Herderkrankungen am Chiasma (vergl. S. 293),
   β) homonyme bei Herderkrankungen zentralwärts vom Chiasma (vergl. S. 296).

Entsprechend der durch die Gesichtsfeldprüfung möglichen Lokalisation der Herderkrankung sollen im folgenden nacheinander besprochen werden[1]) die drei Hauptformen der Sehnervenerkrankung, nämlich die sogen. primäre Atrophie, die Stauungspapille und die Neuritis mit ihren variablen Formen, ferner die Erkrankungen des Chiasmas, des Tractus und des zentraler gelegenen Abschnittes der Sehbahn bis zur Hirnrinde hinauf.

Die Farbensinnstörungen bei Intoxikationen sind im Zusammenhange gesondert aufgeführt.

1. **Primäre Atrophie des Sehnerven.** (Atrophia tabica).

Die sogen. primäre Sehnervenatrophie wird fast ausnahmslos klinisch bei der Tabes bezw. der Dementia paralytica beobachtet.

Keine tabische Atrophie verläuft ohne progressive Rotgrünblindheit, denn die Farbensinnstörung mit ihren verschiedenen Stadien (vergl. S. 142) ist stets die notwendige Vorstufe zu der totalen Farbenblindheit und dem Endausgang der Atrophie, der völligen Erblindung. Bei dem deletären Charakter der tabischen Atrophie tritt demnach überall dort, wo im Gesichtsfeld die Rotgrünblindheit besteht, in absehbarer Zeit völliger Funktionsausfall auf.

In zwei von mir untersuchten Fällen (s. S. 186) ergab die quantitative Untersuchung mit Gleichungen spektraler Lichter Übereinstimmung mit der angeborenen Protanopie. Voraussichtlich hat es sich auch um eine solche gehandelt, wobei zufällig eine Sehnervenatrophie hinzugetreten war, doch war die Frage mit Sicherheit nicht zu entscheiden.

---

[1]) Bei dem engen, nur graduellen Zusammenhange zwischen den Gesichtsfeldstörungen bei der Untersuchung mit farbigen und weißen Objekten ist es unmöglich, in der folgenden Besprechung eine Trennung zwischen „Farbengesichtsfeld“ und dem „für Weiß“ durchzuführen.

Zwischen der Farbensinnstörung mit ihren verschiedenen Stadien einerseits und der zentralen Sehschärfe andererseits besteht nach meinen bisherigen Erfahrungen an weit über 100 Atrophien eine auffallende Übereinstimmung, wenn man den Farbensinn foveal mit pseudoisochromatischen Proben oder mit der Rayleighgleichung quantitativ prüft (Methode S. 175). Abgesehen von unbedeutenden Schwankungen entspricht einem bestimmten Sehvermögen auch ein bestimmter Grad der Farbensinnstörung. Man kann direkt aus dem Grade der Rotgrünblindheit auf die Stärke der Herabsetzung des Sehvermögens als Folge der Atrophie einen ungefähren Schluß ziehen und umgekehrt.

So machte sich am Anomaloskop von Nagel (Lichtquelle: Nernstlampe) die erste Störung gegenüber der Rayleighgleichung bei einem Sehvermögen von $^1/_3$—$^1/_4$ bemerkbar. Die Rotgelbgleichung wurde von $^1/_6$—$^1/_{10}$ ab angenommen (vergl. auch S. 176).

In neuerer Zeit berichtet allerdings u. a. Rönne (63) einen Fall juveniler Tabes, bei dem beinahe totale Farbenblindheit zu bestehen schien, obwohl das Sehvermögen noch recht gut war; also ein auffälliges Mißverhältnis. Ich selbst habe ebenfalls einen Fall von totaler Farbenblindheit bei tabischer Atrophie gesehen, obwohl das Sehvermögen noch $^1/_6$ betrug. Bei näherer Untersuchung erwies sich der Patient aber gleichzeitig als (angeboren?) blaugelbblind (S. 196).

Das gleiche Parallelgehen zwischen Farbensinn und Sehschärfe, das im direkten Sehen beobachtet wurde, findet sich wahrscheinlich auch im indirekten (peripheren) Sehen.

Nach Rönne (63) sollen allerdings im peripheren Sehen Mißverhältnisse zwischen Sehschärfe und dem Grade der Farbensinnstörung vorkommen, welche prognostisch ungünstig zu bewerten seien, weil derartige Atrophien einen besonders schnellen Verlauf zu nehmen pflegten. Bei der Schwierigkeit einer quantitativen Prüfung sämtlicher peripherer Funktionen werden derartige Fragen besser im direkten Sehen entschieden.

Bestätigt sich dieses Parallelgehen zwischen dem Grade der Farbensinnstörung und der Sehschärfe bei der primären Atrophie auch weiterhin, so kann man es in manchen Fällen differentialdiagnostisch verwerten, so z. B. in den Grenzfällen, ob ein chronisches Glaukom oder eine primäre Sehnervenatrophie vorliegt. Bei der glaukomatischen Atrophie findet sich zwar die progressive Rotgrünblindheit in der ganz gleichen Weise, aber nicht selten steht die Herabsetzung der Sehschärfe nicht in dem entsprechenden Verhältnis. Das gleiche gilt auch von denjenigen sekundären Atrophien, welche ophthalmoskopisch einer primären recht gleichen können (multiple Sklerose, Lues cerebri usw.). Auch hier kann ein Mißverhältnis zwischen dem Grade der Sehschärfe und dem Farbensinn bestehen, oft fehlt es allerdings auch.

Wichtig ist das Auftreten der Farbensinnstörung, also der erworbenen Rotgrünblindheit im **Gesichtsfeld.** Da die Rotgrünblindheit immer die Vorstufe zur totalen Farbenblindheit und schließlich zum völligen Gesichtsfeldausfall auch für Weiß ist, so gelten für die Farben die gleichen Erfahrungen, welche bei dem Gesichtsfeldausfall für Weiß, der späteren Folgeerscheinung, gemacht worden sind.

Man kann bei der tabischen Atrophie mehrere Arten des Gesichtsfeldausfalles unterscheiden (Uhthoff 59, Wilbrand und Sänger 60a):

1. Im ganzen Gesichtsfeld tritt mehr oder weniger gleichmäßig die Funktionsstörung auf. Man findet infolgedessen zuweilen bei herabgesetzter zentraler Sehschärfe noch keine Gesichtsfeldstörung für Weiß; wohl aber macht sich die herabgesetzte Funktion dadurch geltend, daß die Rotgrünblindheit auftritt, bei der gleichmäßigen Störung im Gesichtsfeld zuerst dort, wo der Farbensinn auch normaler Weise am schwächsten ausgebildet ist, d. h. in der Peripherie. Man findet daher eine konzentrische Einengung der spezifischen Grenzen für farbige Objekte in normaler Reihenfolge. (Zur Kontrolle sind die Farbengrenzen des anderen Auges oder eines gesunden Vergleichsauges unter denselben Bedingungen aufzunehmen. Nur eine Differenz ist diagnostisch verwertbar, s. auch Abschnitt III.)

Auf der Skizze (Fig. 28) ist graphisch dargestellt, in welcher Weise bei gleichzeitiger Herabsetzung der Funktionen im ganzen Gesichtsfeld eine konzentrische Einengung zu Stande kommen muß.

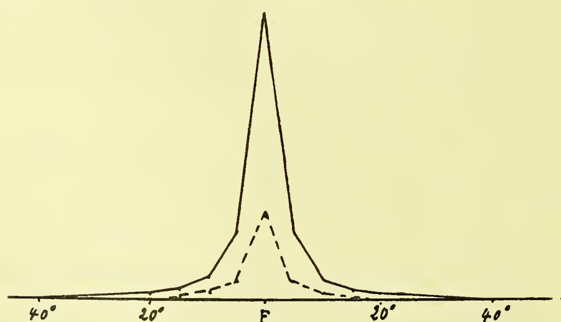


Fig. 28.
——— Abnahme der Sehschärfe (und in ähnlicher Weise wahrscheinlich auch des Licht- und Farbensinnes) von der Fovea nach der Peripherie der Netzhaut.
············ Dasselbe, wenn überall die Funktionen auf $1/3$ herabgesetzt wären. Die Grundlinie wird in der Darstellung schon bei 20° statt bei 40° erreicht. Dem entspräche eine konzentrische Eingrenzung des Gesichtsfeldes.

Nach Wilbrand und Sänger (60a) nehmen derartige Fälle oft einen besonders deletären Verlauf. Da der Rotgrünblind-

heit stets der Gesichtsfelddefekt für Weiß folgt, tritt im späteren Stadium die konzentrische Einengung für Weiß bei herabgesetzter zentraler Sehschärfe auf.

2. Die Funktionsstörung tritt nur partiell, meist in Gestalt sektorenförmiger peripherer Ausfälle auf: Dabei grenzen sich die erhaltenen noch normalen Gesichtsfeldteile scharf gegen die erkrankten ab. Hier folgt der Rotgrünblindheit meist sehr bald der völlige Verlust der Empfindung, sodaß man oft Gesichtsfeldsektoren für Weiß ausgefallen sieht, in den erhaltenen Partien aber noch normale Farbengrenzen findet. Am Rande der Sektorendefekte fallen dann die Grenzen für weiße und farbige Objekte nahezu völlig aufeinander.

Die nicht selten geradezu merkwürdig symmetrischen Gesichtsfeldausfälle auf beiden Augen führen zu dem Auftreten scheinbarer Hemianopsien (homonymen und heteronymen). Sie können bei flüchtiger Prüfung dazu verleiten, eine Herderkrankung zentralwärts vom Chiasma anzunehmen. In einem Teil der Fälle handelt es sich um wahre zerebrale Komplikationen, welche eine echte Hemianopsie bedingen (Uhthoff 59, hier auch Literatur). Man wird sie dann diagnostizieren, wenn noch weitere entsprechende Begleiterscheinungen vorhanden sind. Meist jedoch handelt es sich um Pseudohemianopsien, bedingt durch symmetrisch aufgetretene partielle periphere Sehnervenatrophie. Prüft man in derartigen Fällen die Gesichtsfeldgrenzen für Weiß und Farben sorgfältig in genau korrespondierenden Meridianen, so entdeckt man doch oft deutliche Inkongruenz (vergl. Gesichtsfeld No. 7 bei Uhthoff 59).

Übrigens darf nicht vergessen werden, daß auch bei Hemianopsien zerebralen Ursprungs Inkongruenz vorkommen kann (s. S. 297).

Die sektorenförmigen Defekte sind nach Wilbrand und Sänger nicht allein für Tabes charakteristisch, sondern kommen auch bei luetischen Sehnervenerkrankungen vor, so bei der gummösen Meningitis des Sehnerven). Die Differentialdiagnose ist oft schwierig, wenn früher Lues bestanden hat, aber prognostisch und therapeutisch wichtig (Inunktionskur bei Lues oft erfolgreich, bei Tabes schädlich).

3. Hochgradig konzentrische Einengung des Gesichtsfeldes, wobei im Gegensatz zu Gruppe 1 in dem erhaltenen makularen Gebiet Farbensinn und Sehschärfe noch normal geblieben sind. Man könnte diese Form demnach auch der Gruppe 2 zurechnen, wie es Uhthoff tut.

Auch bei der gummösen Erkrankung der intrakraniellen Opticusstämme kommen gleiche Gesichtsfeldstörungen vor (s. Uhthoff, Wilbrand und Sänger 60a). Man denke ferner noch an das chronische Glaukom mit flacher Exkavation. Die Retinitis pigmentosa sine pigmento wird man leicht ausschalten

können (Adaptationsstörung in dem erhaltenen Gesichtsfeld, ophthalmoskopisches Bild u. s. w.).

4. Die Frage des Vorkommens eines zentralen Skotoms bei der tabischen Atrophie verdient wegen ihrer diagnostischen Wichtigkeit besondere Erwähnung. Fast alle Forscher (näheres siehe Uhthoff und Wilbrand u. Sänger) stimmen darin überein, daß ein doppelseitiges zentrales Skotom mit freier Gesichtsfeldperipherie so gut wie niemals bei der Tabes auftritt.

Uhthoff (59) fand nur in 2% der Fälle ein zentrales Skotom und auch dann war fast immer bereits ein peripherer Gesichtsfeldausfall vorhanden (ein derartiges Gesichtsfeld gibt auch Wilbrand und Sänger wieder); oder das Skotom ist nur auf einem Auge vorhanden, auf dem anderen dagegen entspricht die Funktionsstörung den bereits erwähnten Typen. Wilbrand und Sänger betonen, daß ein zentrales Skotom, das nicht scharf umschrieben ist, sondern allmählich in die Umgebung übergeht, bei Tabes vorkommt.

Jedenfalls ist bei isolierter Erkrankung des papillomakularen Bündels zuerst an andere Affektionen und Komplikationen zu denken, vor allem an Pseudotabes alcoholica und an Pseudotabes luetica. Wegen Prognose und Therapie ist auch hier die Differentialdiagnose wichtig.

In der Regel geht die ophthalmoskopisch sichtbare Abblassung der Sehnervenpapille den Funktionsstörungen, auch der Farbensinnstörung voran, sodaß jede Farbensinnstörung ohne sichtbare Abblassung der Papille im Verlaufe einer Tabes den Verdacht einer Komplikation erregen muß (vergl. Uhthoff 59). Umgekehrt spricht eine atrophische Farbe der Papille bei noch normalen Funktionen für Tabes, zumal wenn noch Pupillensymptome vorhanden sind. Die Farbenblindheit (bezw. die Funktionsstörung) tritt bei der Tabes allmählich auf, sie ist wohl niemals dauernd einseitig und niemals dauernd partiell. Besserungen werden ebenfalls nicht beobachtet, höchstens Stillstände des degenerativen Prozesses.

Die subjektiven Störungen der Farbenempfindung entsprechen vorwiegend denjenigen der progressiven Rotgrünblindheit (S. 141). Es können sich aber noch weitere Erscheinungen hinzugesellen, wie Licht- und Funkensehen (z. B. Rieger u. v. Forster 57), dazu kommt noch die oft störende Nyktalopie (S. 181).

Häufig ist subjektives Farbensehen vorhanden. Besonders das Rotsehen scheint häufiger zu sein, wenigstens andeutungsweise. Ich habe es mehrmals beobachtet (vergl. auch Leber 56). Zuweilen findet man, daß bei ausgesprochener Rotgrünblindheit alle Lichter in einem rötlichen Tone gesehen werden,

ohne daß direkt über Rotsehen geklagt wird. So nennen manche Patienten die langwellige Hälfte des Spektrums rötlich (statt gelb), die kurzwellige lila (statt blau). Vielleicht handelt es sich hierbei um eine Andeutung von Rotsehen.

Grünsehen in Gestalt eines grünen Schleiers bei konzentrischer Gesichtsfeldeinengung sah Dodd (58) bei einem Fall.

Abwechselnd Grün- und Rotsehen oder vielmehr Violett-(Purpur-?) sehen wird von Bregmann (60) berichtet.

Wie man sieht, vollzieht sich das Farbigsehen vorwiegend im Sinne der Rotgrünempfindung.

Das subjektive Farbensehen bezw. überhaupt Lichterscheinungen können auch in bereits erblindeten Augen auftreten oder entsprechend ausgefallenen Gesichtsfeldteilen (Hughlins Jackson, Berger u. a.).

2. Stauungspapille.

Die Stauungspapille ist der sichtbare Ausdruck entweder einer unmittelbaren Druckwirkung auf den Sehnerven, so in seinem intraorbitalen Verlauf, oder einer fortgepflanzten Steigerung des intrakraniellen Druckes.

Im letzteren Falle ist es nicht gleichgültig, ob der zerebrale Krankheitsherd die Sehbahnen berührt oder nicht. Wir müssen daher bei den Funktionsstörungen, welche bei der Stauungspapille auftreten, stets unterscheiden:

1. Funktionsstörungen als Herdsymptome, welche unabhängig von der Stauungspapille dadurch hervorgerufen werden, daß der Krankheitsherd die Sehbahn an irgend einer Stelle, z. B. mechanisch, in Mitleidenschaft zieht, z. B. die bitemporalen Hemianopsien bei Tumoren am Chiasma, die gleichseitigen Hemianopsien bei Herden in der Nähe der Sehstrahlung und des Hinterhauptlappens usw.

2. Funktionsstörungen, welche lediglich als Folge der Stauung im Sehnerven auftreten.

Nur diese letzteren interessieren hier.

Im Gegensatz zu den beträchtlichen sichtbaren Veränderungen an der Sehnervenpapille ist die makulare Sehschärfe und das Gesichtsfeld für Weiß in der Regel lange Zeit vollkommen normal. Hierin unterscheidet sich die Stauungspapille von der Neuritis des Sehnerven, denn bei dieser sind meist (nicht immer!) schon im Beginn, wenn die ophthalmoskopischen Veränderungen noch geringgradig sind, Störungen des Farbensinnes, der Sehschärfe und des Gesichtsfeldes nachweisbar.

Untersucht man aber den Farbensinn, so findet man auch in den Fällen, wo das ophthalmoskopische Bild eine frische Stauungspapille zeigt, nicht selten bereits in der Peripherie des Gesichtsfeldes eine beginnende Rotgrünblindheit als Zeichen einer allgemeinen Herabsetzung der Funktionen. Sie äußert sich am Peri-

meter natürlich in einer beginnenden konzentrischen Einengung der Gesichtsfeldgrenzen für farbige Objekte.

Hierbei ist jedoch eine Fehlerquelle zu beachten. Infolge eines gesteigerten Hirndruckes kann eine erhebliche Herabsetzung des Auffassungsvermögens bestehen. Dadurch wird auch die Schwellenbestimmung der Grenzen für Farben nachteilig beeinflußt. Hiervon wird jeder ohne weiteres überzeugt sein, der einmal an sich selbst beobachtet hat, wie schwer es schon für den Normalen am Perimeter ist, eine exakte Angabe über die Farbengrenzen zu machen. Es ist deswegen bei Hirndruck mißlich, die erhaltenen Angaben am Perimeter mit denen eines Normalen zu vergleichen, die Individuen sind nicht gleichwertig. Oft wird bei Differenzen zwischen beiden dieser Faktor in Rechnung gezogen werden müssen. Um die Prüfung nicht zu lange auszudehnen und die Sache noch schlimmer zu machen, tut man oft gut, nur in einigen Meridianen Bestimmungen vorzunehmen.

Diese konzentrische Einengung mag zum Teil der Ausdruck dafür sein, daß eine annähernd gleichmäßige Herabsetzung der Funktionen im ganzen Querschnitt des Sehnerven stattgefunden hat (vergl. hierüber S. 272), oder es mögen auch vorwiegend die den Scheiden benachbarten Fasern des Sehnerven in Mitleidenschaft gezogen sein.

Jedenfalls findet man oft ziemlich beträchtlich eingeengte Farbengrenzen, während zentral weder mit dem Spektralapparat noch mit der Haitzschen stereoskopischen Prüfungsmethode (Abschnitt III) eine Farbensinnstörung nachweisbar ist. Überhaupt bleiben die fovealen Funktionen in der Regel bis fast zuletzt am besten erhalten. Ein zentrales Skotom für Farben fehlt[1]).

Dieses Moment kommt differentialdiagnostisch in Betracht gegenüber der Neuritis, wo die Funktionsstörung sich meist (nicht immer) gerade umgekehrt verhält. Das ophthalmoskopische Bild entscheidet ja in Anfangsfällen nicht immer, ob eine beginnende Stauungspapille oder Neuritis vorliegt.

Eine (foveale) erworbene Tritanopie habe ich bisher noch nicht beobachtet, immerhin wäre ihr Vorkommen möglich. Dann würde man annehmen müssen, daß sich das Ödem innerhalb der Netzhaut bis in die Makulagegend erstreckt, ähnlich wie bei der Neuritis (s. d.). Ein peripapilläres Netzhautödem und Netzhautablösung ist anatomisch nachweisbar, doch bleibt es in der Regel auf die Umgebung der Papille beschränkt (vergl. Leber 1).

Bei der sorgfältigen Prüfung mit kleinen farbigen Objekten kann man auf eine Vergrößerung des blinden Fleckes auf das 2—4fache seines Durchmessers stoßen. Das Skotom entspricht der sichtbaren Schwellung der Sehnervenpapille und den eben erwähnten peripapillären Netzhautveränderungen.

---

[1]) Vorausgesetzt, daß keine Netzhautveränderungen in der Makulagegend bestehen.

Das atrophische Stadium der Stauungspapille.

Das Eintreten der erworbenen Rotgrünblindheit kann bei der Stauungspapille nicht als Zeichen des beginnenden atrophischen Stadiums angesehen werden, weder die periphere konzentrische Einengung noch die beginnende foveale Farbensinnstörung.

Es ist überraschend, in wie weitgehender Weise die Funktionsstörung der Sehnerven mit Aufhören des Hirndruckes sich wieder heben und schließlich wieder völlig normal werden kann.

Aus diesem Grunde ist die ophthalmoskopisch sichtbare Abblassung gerade bei der Stauungspapille ein besserer Anhaltspunkt für den Eintritt des atrophischen Stadiums, wie die Funktionsstörung. Aber auch dann bezeichnet der Grad der progressiven Farbensinnstörung noch nicht immer auch den Grad der eingetretenen Atrophie. Besserungen der Funktion mit Aufhören des Hirndruckes sind durchaus möglich, freilich pflegen sie nicht beträchtlich zu sein. Jedenfalls wird eine vollkommen normale Funktion (normaler Farbensinn im ganzen Gesichtsfeld) bei bereits atrophischer Papille kaum erreicht.

Hat das zentrale Sehvermögen und damit auch die Farbenempfindung bereits beträchtlich abgenommen (etwa Sehvermögen unter $^1/_{10}$ bei konzentrischer Einengung[1])), so pflegt die Atrophie und damit auch die Farbensinnstörung allmählich noch weiter zuzunehmen, oft bis zur völligen Erblindung des Auges. In derartigen Fällen bereits weiter fortgeschrittener Atrophie ist auch die Entlastung des Hirndrucks etwa durch Operation, durch welche in frischen Fällen die Funktionen wieder völlig normal werden können, von keinem oder nur von vorübergehendem Erfolge.

Die Radikal- oder Palliativoperation und die Farbensinn- bezw. Funktionsstörung.

Von der größten Bedeutung ist die Frage, ob und wann durch einen operativen Eingriff die Funktionen des Auges bei der Stauungspapille wieder gebessert werden können und inwieweit die Farbensinnstörung einen Anhalt für die Voraussage bietet.

Die radikale operative Beseitigung der Grundursache kommt bei Tumoren des Gehirns in nur etwa 7,5% der Fälle in Frage. Dann verschwindet mit der Grundursache die Stauungspapille fast ausnahmslos völlig.

In der Mehrzahl der Fälle ist eine operative Entfernung der Causa morbi nicht möglich, sondern nur eine Aufhebung des erhöhten intrakraniellen Druckes, etwa durch die Pallativtrepanation (oder auch durch andere Methoden wie Drai-

[1]) Herdsymptome etwa am Chiasma und anfallsweise vorübergehende Erblindungen infolge des Hirndrucks sind hierunter nicht verstanden, sondern nur die allmähliche Funktionsstörung infolge der Sehnervenerkrankung.

nage des Ventrikel, in geeigneten Fällen Lumbalpunktion[1])). Welche Operationsmethode angewendet wird, kommt für die Funktion der Sehnerven erst in zweiter Linie in Betracht, stets ist der maßgebende Gesichtspunkt die Beseitigung des gesteigerten Hirndruckes.

Zur Beurteilung der Prognose hat die Prüfung der Farbenempfindung ungefähr dieselbe Bedeutung wie die zentrale Sehschärfe, da eben beide annähernd in gleichem Maße zu sinken pflegen. Ich spreche daher hier allgemein von Funktionen des Auges statt vom Farbensinn, umsomehr als in der Literatur in der Regel nur die Sehschärfe als Maßstab für die Heilwirkung der operativen Eingriffe gewählt worden ist.

Ich glaube nicht, daß Aussicht vorhanden ist, mit Hilfe der Farbensinnprüfung neue wichtige prognostische Anhaltspunkte zu gewinnen, dagegen kann sie bei geeigneten quantitativen Untersuchungsmethoden zu einem feineren Maßstab für den Grad der Funktionsstörung ausgebildet werden, wie die Sehschärfeprüfung.

Die Aussichten zur Besserung oder Erhaltung der Funktionen des Auges sind nach v. Hippel (65), gute, wenn in einem frühen Stadium der Stauungspapille operiert wird, d. h. zu einer Zeit, wo die Sehschärfe noch etwa $^1/_{10}$ der Normalen beträgt. Dieser günstige Erfolg ist auch bei Hirntumoren zu erwarten. Dagegen sinken die Aussichten beträchtlich, wenn in einem späteren Stadium der Stauungspapille operiert wird.

Umso eher wird man sich zur frühzeitigen Operation entschließen, wenn während der Beobachtungszeit die Funktionen, Farbensinn und Sehschärfe, sinken.

Nach der Zusammenstellung v. Hippels wurden von 24 derartigen Fällen durch Operation bei 21 das Sehvermögen erhalten oder verbessert, ein recht erfreuliches Ergebnis. Dagegen gestaltete sich der Erfolg bei 92 Fällen mit praktisch unbrauchbarem Sehvermögen viel ungünstiger. Nur 14 wurden gebessert, und in 6 von ihnen trat über kurz oder lang wieder eine erneute Verschlechterung des Sehvermögens auf.

---

[1]) Nach v. Hippel (65) steht unter den operativen Eingriffen die Trepanation zweifellos obenan. Die Lumbalpunktion kann als einfacheres Mittel zuvor versucht werden bei Meningitis serosa, Lues und nach Traumen, dagegen nicht bei Verdacht auf Tumor cerebri, besonders nicht bei den Geschwülsten der hinteren Schädelgrube. Nicht nur bei Tumor cerebri, sondern auch bei den übrigen Erkrankungen, so bei Gumma cerebri kann die Trepanation notwendig werden, nämlich dann, wenn die medikamentöse Behandlung zu lange dauert, um die Erblindung infolge der Steigerung des intrakraniellen Drucks zu verhüten.

Außerdem betont v. Hippel, daß es sich bei der Trepanation durchaus nicht immer nur um ein Hinausschieben des unvermeidlichen Endes handelt, sondern daß völlige Heilungen vorkommen; zweitens daß die Lebensdauer vieler Patienten noch immer so lang ist, daß der Eingriff zur Verhütung einer Erblindung durchaus lohnend ist.

Einen anderen Standpunkt nimmt z. B. Charles (66) an; trotz Herabsetzung bezw. Verminderung der makularen Funktionen sieht er als ein prognostisch günstiges Zeichen, das ein Aufschieben einer Operation gestattet, an, wenn sich die peripheren Gesichtsfeldgrenzen für farbige Objekte während der Beobachtungszeit erweitern (es wird 1 Fall angeführt). Jedoch erscheint es mir bei der Möglichkeit wechselnder psychischer Einflüsse auf die Prüfungsergebnisse der peripheren Farbenempfindung wenig ratsam, dieses Verhalten zu verallgemeinern.

3. Neuritis nervi optici.

Im Gegensatz zur Stauungspapille tritt bei der frischen Neuritis, wie im Stadium der neuritischen Atrophie die Farbensinn- bezw. Funktionsstörung in den peripheren Gesichtsfeldteilen an Bedeutung zurück gegenüber der oft frühzeitigen und hochgradigen Beeinträchtigung der Funktionen der zentralen Gesichtspartien.

Die Ursache ist in der leichten Affizierbarkeit des sogen. papillomakularen Faserbündels zu suchen, das bekanntlich im Sehnerven eine gewisse pathologische Sonderstellung einnimmt. Auf diese Weise entsteht das charakteristische **zentrale Skotom.** In seinem Bereich treten die Symptome der progressiven Rotgrünblindheit auf, sodaß man von dem mehr oder weniger ausgesprochenen „Skotom für Rot und Grün", weiterhin auch „für alle Farben" spricht. Bei der gleichzeitigen Lichtsinnstörung tritt auch das „relative Skotom für weiße Objekte" auf, bei hochgradiger Funktionsherabsetzung das „absolute Skotom"[1].

Für die Feststellung einer Beteiligung des papillomakularen Bündels und für die Diagnose oder Prognose des Krankheitsprozesses, der dem Farbenskotom zu Grunde liegt, ist es dabei ohne wesentliche Bedeutung, ob der Fixierpunkt sich genau im Zentrum des Skotoms befindet oder ob er exzentrisch liegt. Auch neben dem Fixierpunkt liegende (parazentrale) Skotome haben die gleiche Bedeutung wie zentral gelegene. Ja häufig beginnt ein zentrales Skotom parazentral oder hinterläßt bei seinem Rückgange vorübergehend oder dauernd einen parazentralen Defekt für Farben.

Alle diese zentralen oder parazentralen Skotome im Umkreise von etwa 10° Radius um den Fixierpunkt sind der Ausdruck dafür, daß eine vorwiegende Beteiligung des papillomakularen Bündels an der Funktionsstörung stattgefunden hat.

---

[1]) Ob ein Skotom „absolut" ist oder nicht, hängt auch bei Benutzung weißer Quadrate von der Objektgröße ab, ebenso wie bei den Farbenskotomen. Ein absolutes Skotom kann ganz oder teilweise in ein relatives verwandelt werden, wenn die Quadrate größer gewählt werden.

Man muß also eigentlich den Begriff des „zentralen Skotoms“ etwas weiter fassen, wenn man damit eine Beteiligung des papillomakularen Bündels identifizieren will.

Die bevorzugteste Region des Gesichtsfeldes beim Beginn zentraler Skotome im Verlaufe von Neuritiden ist die Gegend zwischen Fixierpunkt und blindem Fleck; sie sollte jedesmal am sorgfältigsten abgesucht werden. Entweder findet man hier kleine exzentrische Skotome oder auch Vergrößerungen des „blinden Fleckes“, dann meist nach dem Fixierpunkt hin.

Die zentral gelegenen Skotome sind aber deswegen in ihrer Größe durchaus nicht an den genannten Bezirk gebunden, das papillomakulare Bündel erkrankt nur vorwiegend, nicht isoliert. Es können die zentralen Skotome auch eine ganz erhebliche Größe erreichen, sodaß schließlich auf einer Seite oder auch ringsherum die normalen Außengrenzen für farbige Objekte erreicht werden. Dann entstehen halbmondförmige Gesichtsfelder für Farben oder das Gesichtsfeld erscheint in ganzer Ausdehnung „rotgrünblind“.

Im letzteren Falle muß die Folge natürlich eine gleichzeitige Einengung der Farbengrenzen sein. Außerdem aber sind regelmäßig dann noch innerhalb des großen Skotoms graduelle Unterschiede vorhanden: die Rotgrünblindheit ist an einer Stelle — meist wieder entsprechend dem papillomakularen Bündel — stärker ausgesprochen, ja oft besteht dann schon ein zentrales absolutes Skotom. Derartige Stellen werden „Kernstellen“ des Skotoms genannt.

So ist denn auch bei größeren zentralen Farben- oder absoluten Skotomen meist bereits in der übrig gebliebenen Peripherie des Gesichtsfeldes eine beginnende Rotgrünblindheit nachweisbar, wenn man genau untersucht. Dadurch ergibt sich eine konzentrische Einengung für Farben, oft auch für Weiß, oder Rotgrün- — bezw. totale Farbenblindheit im ganzen Gesichtsfeld, wenn mit Objekten von geringer Größe untersucht wird.

Innerhalb der „rotgrünblinden Skotome“ müssen die Farben natürlich in der gleichen Reihenfolge erlöschen, wie in der Peripherie des Gesichtsfeldes, d. h. bei den gebräuchlichen Pigmentquadraten Grün gewöhnlich zuerst, Blau zuletzt, daher ist das Skotom für gleichgroße blaue Objekte fast stets kleiner, als für rote und grüne.

Infolge des ungleichen Farbenwertes der gebräuchlichen Pigmentfarben am Perimeter tritt meist zunächst ein „Skotom für Grün“, etwas später das „Skotom für Rot“ auf. Zuweilen

wird auch im Anfange zuerst die Verändernng des roten Quadrates im Ton und Sättigung von den Patienten bemerkt und die des grünen Objektes übersehen. Überhaupt ist in dieser Beziehung eine Schematisierung nicht möglich.

Nochmals sei betont, daß Ausdrücke wie Skotom „für Rot und Grün" oder „für alle Farben" ohne weitere Bemerkung über Art und vor allem Größe der benutzten Objekte völlig wertlos für die Beurteilung des Grades der Funktionsstörung sind (S. 172).

Über die Technik der Untersuchung s. Abschnitt III. Sie hat meist mit Perimetern oder ähnlichen Apparaten zu erfolgen. Ist der Fixierpunkt aber mitbeteiligt, so ist es immer anzuraten, Kontrolluntersuchungen, besonders über den Grad der Rotgrünblindheit vorzunehmen und zwar a) mit der Rayleighgleichung, b) mit pseudoisochromatischen Gleichungen, z. B. der Farbengleichungslampe.

Bei Untersuchung auf beginnende Skotome achte man ferner auch auf Angabe der Patienten, daß sie beim Lesen feinster Druckschrift an einer umschriebenen Stelle „dort, wo sie gerade hinblicken" die Schrift „grauer" sehen (Lichtsinnstörung, Abnahme des Schwarz-Weiß-Kontrastes).

In einigen wenigen Fällen sind auch Ringskotome beobachtet worden, wobei der ganze zentrale Bezirk entsprechend dem papillomakulären Bündel unbeteiligt erschien. So sah ich ein derartiges Farbenskotom im Sinne einer Rotgrünblindheit doppelseitig bei Siebbeineiterung, Wilbrand und Sänger (60a) ein relatives Ringskotom bei multipler Sklerose. Auch bei luetischer Neuritis sah ich zweimal (absolute) Ringskotome. Vor kurzem hat Gjessing[1]) noch einige Fälle von Ringskotomen rhinogenen Ursprungs zusammengestellt.

Es würde zu weit führen, hier die verschiedenen Ansichten über die Entstehung von Ringskotomen aufzuführen. Doch muß daran gedacht werden, daß scheinbare Ringskotome als Rest- oder Teilerscheinung größerer zentraler Skotome vorkommen, gleichsam als Ausdruck einer gleichmäßigen Funktionssenkung der Gesichtsfeldmitte, aus welcher der zentralste Teil infolge seiner von Hause aus erheblich höheren Funktion hervorragt.

Art der Farbensinnstörung.

Je nach der Art und Lokalisation der entzündlichen Prozesse im Sehnerven tritt einmal mehr die Hyperämie der Papille, teils das Ödem der umgebenden Netzhaut, teils die Atrophie der Nervenfasern — meist des papillomakulären Bündels — in den Vordergrund.

Dementsprechend ist auch die Art der Farbensinnstörung wechselnd. Von den Haupt- bezw. typischen Gruppen steht die progressive Rotgrünblindheit bei weitem im Vordergrunde, da eben in der Mehrzahl der Fälle eine Herabsetzung der Leitung im Sehnerven durch den Krankheitsprozeß vorhanden ist. Durch die

[1]) Graefes Arch. f. Ophth. LXXX, S. 153. 1911.

vorwiegende Beteiligung des papillomakularen Bündels führt sie zu den ebengenannten Gesichtsfeldstörungen.

Als alleinige Farbensinnstörung findet sich die progressive Rotgrünblindheit meist bei denjenigen Formen von Sehnervenentzündung, wo die Angriffsstelle im Nerven soweit von der Eintrittsstelle in den Bulbus abliegt, daß eine ausgedehntere Beteiligung der Netzhaut an dem Entzündungsprozeß nicht mehr stattfindet.

Man beobachtet sie daher bei der multiplen Sklerose, den luetischen Erkrankungen der Hirnbasis mit Beteiligung des Sehnerven, der Neuritis infolge Erkrankungen der Nebenhöhlen der Nase, bei der Myelitis, bei der hereditären Sehnervenatrophie und auch bei zahlreichen Intoxikationen des Sehnerven (s. später).

Daher ist auch eine Trennung dieser Formen nach ihrer Ätiologie mit Hülfe der Farbensinnprüfung allein nicht möglich.

Dagegen ist die Prüfung auf Rotgrünblindheit im Gesichtsfeld geradezu unentbehrlich, um in derartigen Fällen die ersten Anfänge der Neuritis funktionell einwandsfrei nachzuweisen.

Außerdem kann der Stand der Funktionsstörung sorgfältig kontrolliert werden sowohl hinsichtlich der Ausdehnung der Skotome als auch durch quantitative Prüfung des fovealen Farbensinnes (mit pseudoisochromatischen Gleichungen (S. 175) oder Rayleighgleichung (S. 176). Die Farbensinnprüfung stellt einen viel feineren Gradmesser dar, als die Sehschärfe, welche auch in höherem Grade von anderen Faktoren (Veränderungen im dioptrischen Apparat z. B. gleichzeitige Glaskörpertrübungen) beeinflußt wird.

Die Ausbreitung der Farbensinnstörung im Gesichtsfeld gestattet wenig Schlüsse auf die Ursache des Prozesses zu ziehen. Variationen des Gesichtsfeldausfalles für Farben und Weiß kommen bei jeder Form von Neuritis in ziemlich erheblichen Grenzen vor. Insbesondere ist eine konzentrische Einengung keineswegs der Ausdruck für eine besondere Beteiligung der peripher gelegenen Fasern des Sehnerven etwa infolge einer Meningitis der Scheiden, sondern sie kann ebenso, wie bereits mehrfach erwähnt, der Ausdruck für eine gleichmäßige Herabsetzung der Funktionen im ganzen Querschnitt des Opticus sein, wobei dann in der Regel ein zentral gelegenes Skotom mit noch stärkerer Funktionsstörung die Kernstelle bildet.

Die Beziehungen zwischen progressiver Rotgrünblindheit und Sehschärfe bei der Neuritis scheinen keine so engen zu sein, wie bei der primären Sehnervenatrophie.

Ein annähernd gleichgradiges Sinken von Sehschärfe und Farbensinn bildet allerdings auch hier das häufigere Vorkommen (vergl. die Ausführungen S. 178). In anderen Fällen aber findet man bei ziemlich herabgesetzter Sehschärfe (z. B. $^1/_6$) noch scheinbar normalen Farbensinn. Die einzige Angabe mag wohl lauten, daß innerhalb eines Skotoms die Perimeterobjekte verschwommener aussehen, „flimmern" usw.

Die Ursache dieses Mißverhältnisses zwischen herabgesetzter Sehschärfe und noch gutem Farbensinn entzieht sich vorläufig noch unserer Kenntnis. Naheliegend wäre es, an eine Beteiligung der Netzhaut etwa durch Exsudat usw. zu denken, die ja möglich ist, auch ohne daß eine ausgesprochene Blaublindheit auftritt[1]).

Auch umgekehrt kann man zuweilen einen stärker herabgesetzten Farbensinn (progressive Rotgrünblindheit bezw. totale Farbenblindheit) antreffen, als man der Sehschärfe nach erwarten sollte[2]). Ich habe es bei länger bestehenden Erkrankungen bezw. schon sekundärer Atrophie (Lues cerebri) einige Male gesehen, ebenso auch bei Intoxikationen (s. dort).

Hier kann man zuweilen beobachten, daß beim Rückgang des Prozesses die Sehschärfe sich allmählich bessert, die Rotgrünblindheit dagegen noch mehrere Wochen auf ihrem tiefen Stande verbleibt. Andererseits gibt es auch wieder akute Neuritiden, bei denen Sehschärfe und Farbensinnstörung gleichzeitig und innerhalb weniger Tage fast zur Norm zurückkehren. Diese Beziehungen sind zur Zeit noch ungeklärt und daher vorläufig diagnostisch noch nicht zu verwerten.

Der Grad der Rotgrünblindheit ist von dem Augenspiegelbild natürlich vollkommen unabhängig, ebenso wie bekanntlich die Neuritis auch zur Erblindung führen kann, ohne daß sichtbare Veränderungen vorhanden sind. Das ophthalmoskopische Bild wird eben wesentlich durch die Lokalisation des Entzündungsherdes innerhalb der Sehnerven bestimmt, je nachdem er näher am Bulbus oder mehr zentralwärts sich befindet; dagegen spielt für die progressive Rotgrünblindheit die Lokalisation innerhalb der Sehbahn keine Rolle.

---

[1]) Es sei dabei an die Rählmannsche Theorie erinnert (vergl. Abschn. IV), welche eine Herabsetzung der Sehschärfe ohne Farbensinnstörung durch Verwerfen der Zapfenreihen zu erklären versucht.

[2]) Wenn man die Erfahrungen bei den primären Atrophien zu Grunde legt.

Das Symptomenbild der erworbenen **Blau- oder Violettblindheit** kommt ebenfalls bei Sehnervenentzündungen vor, wenn auch seltener, vorwiegend bei den Formen, bei welchen die Herderkrankung der Eintrittsstelle des Nerven in den Bulbus nahe liegt und der ganze Prozeß überhaupt mit einer erheblichen Beteiligung der Netzhaut (in Gestalt von Ödem usw.) einherzugehen pflegt. Wie ja denn wahrscheinlich überhaupt die Blaublindheit der Ausdruck für einen exsudativen oder transsudativen Netzhautprozeß ist. Hierher gehört vor allem die Neuritis luetica, albuminurica und sympathica. Sie kann aber auch bei anderen Formen vorkommen.

Der Nachweis „blaublinder" Skotome im Gesichtsfeld kann diagnostisch von großer, ja ausschlaggebender Bedeutung sein in Fällen, bei denen man im Zweifel ist, ob eine wahre Neuritis oder eine sogen. Pseudoneuritis vorliegt. Bekanntlich ist selbst bei den besten diagnostischen Fähigkeiten die Entscheidung nach dem Augenspiegelbilde allein, zuweilen so gut wie unmöglich, zumal wenn die Sehschärfe noch normal ist. Zweimal habe ich in derartigen Fällen mit dem Haitzschen Apparat (Abschn. III) kleine parazentrale Skotome mit den typischen Symptomen der Blau- oder Violettblindheit (s. S. 239) nachweisen können. Danach konnte die Diagnose auf echte Neuritis gestellt werden und zwar mit exsudativen Prozessen innerhalb der Netzhaut.

Die Blaublindheit findet sich natürlich seltener für sich allein, als vielmehr mit der progressiven Rotgrünblindheit gepaart.

Daß durch ein derartiges Zusammentreffen leicht eine totale Farbenblindheit entsteht, ist in dem allgemein-pathologischen Teil bereits auseinandergesetzt worden. So findet man denn auch foveal eine totale Farbenblindheit nicht selten schon dann, wenn das Sehvermögen noch relativ gut erhalten ist (etwa $^1/_6$). In derartigen Fällen denke man an die Möglichkeit gleichzeitiger Blaugelbblindheit neben der Rotgrünblindheit.

Ebenso kann die totale Farbenblindheit natürlich den Endausgang der progressiven Rotgrünblindheit darstellen. Man findet häufig inmitten eines „rotgrünblinden" Skotoms eine totale Farbenblindheit als Kernstelle. Hierbei ist natürlich wie bei der Rotgrünblindheit der Ausdruck erworbene totale Farbenblindheit für die Beurteilung der Schwere der Funktionsstörung wertlos, wenn nicht die Untersuchungsbedingungen angegeben werden. Denn bereits durch die Anwendung größerer Objekte kann diese Form der

totalen Farbenblindheit wieder in das höhere Stadium der Rotgrünblindheit usw. zurückverwandelt werden[1]).

Natürlich können sich noch andere, sozusagen atypische Formen von Farbensinnstörungen finden, als die hier genannten. Die Deutung wird immer schwer sein, zumal wenn es sich um exzentrische Skotome handelt, bei denen eine genauere Spektraluntersuchung nicht möglich ist.

Ebenso kommt auch Chromatopie wie Rotsehen (z. B. Hirsch (86), Grünsehen usw. bei Neuritiden vor, worauf kaum noch einmal besonders hingewiesen zu werden braucht, da dem „Farbigsehen" bei seiner Mannigfaltigkeit kaum eine spezielle diagnostische Bedeutung zukommt.

Wann kann demnach bei Verdacht auf Neuritis nervi optici eine Erkrankung der nervösen Bahnen mit Wahrscheinlichkeit angenommen werden?

Man ist dazu berechtigt, wenn folgender Befund erhoben wird:

a) am Perimeter[2]): wenn in einem umschriebenen Gesichtsfeldbezirk die farbigen Objekte — also meist rot, grün, gelb und blau ihren Farbenton ändern, etwa Rot nach Gelb hin oder Blau nach Grün hin (Blaublindheit!); oder wenn die Farben an Sättigung verlieren, grau bezw. weiß werden.

b) Wenn pseudoisochromatische Gleichungen angenommen werden sowohl zwischen Farben untereinander als auch mit Weiß, unter Beobachtungsbedingungen, bei denen der Normale keine Gleichungen annimmt. Dabei muß angeborene Farbensinnstörung ausgeschlossen sein.

c) Ein weiteres Hülfsmittel stellt auch die Rayleighgleichung dar. Sowohl eine Verbreiterung des zur Gleichung erforderlichen Rotgrüngemisches (s. S. 159) wie eine „vermehrte Zumischung von Rot" (s. S. 133)[3]) können Zeichen einer Erkrankung der Netzhaut oder des Sehnerven bilden. Doch ist die Rayleighgleichung allein, besonders bei negativem Perimeterbefunde mit Vorsicht zu verwerten. Angeborene Farbenblindheit muß natürlich auch hier ausgeschlossen werden, was ja leicht gelingt.

Läßt sich die Sehnervenatrophie nach Neuritis von derjenigen nach Stauungspapille mit Hülfe der Farbensinnprüfung unterscheiden?

---

[1]) Streng genommen kann von totaler Farbenblindheit erst dann gesprochen werden, wenn im Spektrum alle Lichter, auch die beiden äußersten Enden den gleichen farbigen Eindruck — grau — hervorrufen (vergl. S. 191).

[2]) Oder ähnliche Apparate, wie Haitzsche Methode, Skotometer u. a. m. (s. später).

[3]) Dabei muß stets an eine angeborene Protanomalie gedacht werden. Der Zufall kann auch bei einem Protanomalen eine Neuritis entstehen lassen.

Bei beiden kommt die Rotgrünblindheit mit ihren Stadien in den verschiedenen Teilen des Gesichtsfeldes vor. Bei beiden wird auch häufig die gleiche Form der Gesichtsfeldstörung beobachtet, z. B. hochgradige konzentrische Einengung bei herabgesetzter Sehschärfe, exzentrisches Gesichtsfeld usw.

Immerhin spricht im allgemeinen mehr für eine Atrophie nach Neuritis

1. Normaler Farbensinn und normales Gesichtsfeld bei deutlich sichtbarer weißer Sehnervenpapille. Denn nicht selten bleibt bei der Neuritis eine Neubildung von Stützgewebe auf der Papille zurück, ohne daß augenscheinlich Sehnervenfasern in merklichem Grade zu Grunde gegangen sind.

Sind dagegen die Funktionen bezw. der Farbensinn beträchtlich herabgesetzt, (makulare und periphere Rotgrünblindheit), so ist die nachträgliche Unterscheidung, ob eine Neuritis oder Stauungspapille vorgelegen hat, sehr schwer.

2. Das Vorhandensein eines zentralen (parazentralen) „rotgrünblinden“ Skotoms, das bei der Stauungspapille in der Regel fehlt.

3. Das Vorhandensein eines zentralen Skotoms mit erworbener Blaublindheit. Diese besteht zuweilen noch, wenn das Ödem ophthalmoskopisch nicht mehr nachweisbar ist, möglicherweise also auch noch, wenn bereits die Atrophie sichtbar ist.

4. Eine wesentliche Hülfe für die Diagnose sind häufig Funktions- bezw. Farbensinnstörungen, welche nicht durch die Sehnervenerkrankung bedingt sind, sondern Herdsymptome anderer nachweisbarer Krankheitsherde darstellen: Bei Netzhauterkrankungen liegt fast stets eine Atrophie infolge Neuritis vor. Eine Hemianopsie dagegen zeigt uns in den zentraleren Sehbahnen eine Herderkrankung an; wegen der räumlichen Entfernung wird in diesen Fällen die Atrophie in der Regel als Folge einer Stauungspapille anzusehen sein.

Eine ungünstige **prognostische Bedeutung** kommt der Farbensinnstörung bei der Neuritis in keinem Stadium zu; stets kann eine Rückkehr der normalen Funktionen erfolgen. In der Regel erfolgt der Rückgang eines zentralen Skotoms von außen nach dem Zentrum zu, sodaß eine zentrale bezw. parazentrale „Kernstelle“ am längsten zurückbleibt. Ein absolutes Skotom kehrt wieder über die Rotgrünblindheit zurück, d. h. auf demselben Wege, auf dem es entstanden ist. Der Rückgang kann sich manchmal innerhalb weniger Tage vollziehen. Oft läßt sich noch lange ein kleines zentrales Restskotom nachweisen, in welchem besonders rote und grüne Farben verändert, besonders ungesättigter gesehen werden.

Im folgenden sind einige Formen von Neuritis kurz besprochen, bei denen die Farbensinnprüfung eine besondere diagnostische Wichtigkeit besitzen kann, nämlich die Neuritis luetica, Neuritis infolge Nebenhöhlenerkrankung und die multiple Sklerose.

Neuritis luetica.

Bei der frischen Neuritis luetica ist besonders das frühzeitige Auftreten blau- bezw. violettblinder Skotome hervorzuheben, die meist in typisch ausgesprochener Weise bestehen. Bei einer Serie von 10 Fällen luetischer Neuritis nervi optici fehlten die Symptome der Blaublindheit nur vier Mal.

Auch den spektralanalytischen Nachweis eines tritanopischen (also dichromatischen) Systems konnte ich bei der luetischen Neuritis führen.

Die Blaublindheit hat demnach für die Frühdiagnose Bedeutung.

Im übrigen entspricht das Vorkommen der progressiven Rotgrünblindheit, der totalen Farbenblindheit und die Ausdehnung der Farbensinnstörung im Gesichtsfeld durchaus dem, was im allgemeinen von der Neuritis gesagt wurde.

Zur ätiologischen Diagnose, ob es sich um eine luetische Neuritis handelt oder nicht, wird man die Farbensinnprüfung kaum heranziehen, sie ist auf anderem Wege leichter zu erreichen. Wichtig ist für die Prognose aber die Entscheidung, was nach vorangegangener luetischer Infektion und beim Bestehen einer Sehnervenatrophie vorliegt, eine reine **Tabes oder eine Pseudotabes luetica,** d. h. eine reine Atrophie oder ein entzündlicher Prozeß; denn letzterer ist einer spezifischen Behandlung zugänglich (vergl. Wilbrand und Sänger 60a). Folgendes Verhalten der Farbensinnstörung spricht mehr für einen entzündlichen Prozeß und gegen reine Tabes:

a) wenn die Rotgrünblindheit als scharf begrenztes zentrales Skotom auftritt (z. B. Wilbrand und Sänger 60a, S. 540).

b) wenn ein ausgesprochenes Mißverhältnis zwischen Farbensinn- und Sehschärfeherabsetzung besteht (über die Beziehungen beider s. S. 178), mag die Farbenempfindung besser, als die Sehschärfe sein oder umgekehrt.

c) wenn im Augenspiegelbilde die Farbe der Papille nicht dem Grade der Farbensinnstörung entspricht: bei der Tabes pflegt die atrophische Farbe bereits vorhanden zu sein, auch wenn noch keine Farbensinnstörung nachweisbar ist.

d) Einseitigkeit der Funktionsstörung bezw. der Atrophie (Wilbrand und Sänger).

Neuritis bei Nebenhöhlenerkrankung.

Anatomie. Als Angriffspunkt kommt vor allem derjenige Teil der Sehnerven in Betracht, welcher im direkten Kontakt mit dem Knochen bezw. der Dura oder Periorbita steht. Das ist in erster Linie der intrakanalikuläreTeil, aber auch der intrakranielle Teil einschließlich des Chiasmas. Hier sind die

Keilbeinhöhlen und die hinteren Siebbeinzellen in wechselnder Lage oft nur durch eine dünne Knochenplatte vom Sehnerv geschieden. Besonders bei den Siebbeinzellen kann der Knochen die Zartheit von Seidenpapier erreichen, bei der Keilbeinhöhle pflegen die Wandungen nicht dünner wie 1 mm zu sein. Eine Höhle kann sowohl beide, wie den kontralateralen Sehnerven allein begrenzen. Seltener kann auch die Stirnhöhle oder die Muschelzelle (a. d. oberen Muschel) den Sehnerv erreichen. Dehiscenzen in den knöchernen Wandungen der Höhlen pflegen, wenn auch sonst häufiger, so doch im Bereich des Canalis opticus selten zu sein (weniger wie 1%). Außerdem laufen in einem Halbkanal an der Wand der Nebenhöhlen die Ethmoidalvenen derart, daß an einzelnen Stellen die Schleimhaut der Höhlen und das Periost sich berühren (Onodi 75).

Für die Ausbreitung der Entzündung auf den Sehnerven kommen also in erster Linie die Keilbeinhöhle und die Siebbeinzellen in Betracht. Bei Erkrankung der vorderen Nebenhöhlen, wie Stirn- und Kieferhöhle ist jedoch zu beachten, daß häufig gleichzeitig auch die hinteren Höhlen miterkrankt sein können, zumal nicht selten dünne gemeinschaftliche Scheidewände bestehen. Als Wege für die Ausbreitung der Entzündung auf den Sehnerv können vor allem gelten a) Erkrankung bezw. Nekrose des Knochens, b) Dehiscenzen, c) entlang den Gefäßen, z. B. an den Ethmoidalvenen (Thrombophlebitis, Periphlebitis).

Als anatomische Grundlage für die Funktionsstörung des Sehnerven werden sowohl interstitielle Neuritis, als Zirkulationsstörungen und toxisches Ödem angesehen (Birch-Hirschfeld).

Die Häufigkeit des Zusammenhanges zwischen Nebenhöhlenerkrankung und Neuritis N. optici darf nicht überschätzt werden bei aller Wichtigkeit der Beziehungen beider zu einander. Sonst können andere ursächliche Momente wie multiple Sklerose usw. leicht übersehen werden, die auch zufällig mit Empyemen der Nebenhöhlen zusammentreffen können (vergl. Birch-Hirschfeld). Das Material des Nasenspezialisten unterscheidet sich dabei natürlich von dem des Ophthalmologen wesentlich, und es verlaufen zahlreiche Empyeme zweifellos auch ohne Sehstörungen (s. Literatur bei Onodi). Keine Sehstörungen sahen z. B. Flatau bei 26 Fällen, Hinkel bei 20 Keilbeinempyemen, Henrici und Haeffner bei 36 Fällen, Verfasser bei 20 Fällen aller Arten von Empyemen der Nebenhöhlen.

Die Sehstörungen treten nicht nur bei den akuten Empyemen der Nebenhöhlen auf, sondern auch bei chronischen Entzündungen der Wandungen. Häufig wurden sie gerade bei polypösen Degenerationen der Sinusschleimhaut angetroffen (Literatur bei Birch-Hirschfeld und Onodi). Auch ich sah in 3 Fällen eine derartige hochgradige polypöse Degeneration.

In ähnlicher Weise greifen auch die Tumoren bes. Karzinome und Sarkome auf den Sehnerven über und führen zu zentralen Skotomen und zur Erblindung. Anatomisch handelt es sich dabei entweder um eine Kompression des Sehnerven am Canalis opticus (Birch-Hirschfeld, Köllner 82), um ein Einwuchern des Tumors in den Sehnerven (Köllner 82) oder um eine Zirkulationsstörung als Fernwirkung (Birch-Hirschfeld). Mukozelen pflegen nur raumbeengend in der Orbita zu wirken.

Bei dem häufig negativen Augenspiegelbefunde spielt gerade bei Nebenhöhlenerkrankungen die Farbensinn- bezw. Funk-

tionsprüfung für die Diagnose einer Erkrankung der Sehnerven oft eine ausschlaggebende Rolle. Aus diesem Grunde hat sie auch in der Literatur eine erstaunliche, aber sehr erfreuliche Beachtung gefunden.

Bisher ist als Farbensinnstörung mit Sicherheit nur die erworbene Rotgrünblindheit beobachtet worden, soweit die in der Literatur mitgeteilten Fälle (Jung 84, v. d. Hoeve 81, Kleijn 83, Birch-Hirschfeld 82a u. a.) eine Beurteilung zulassen.

Sie sind meist nur mit wenigen farbigen Perimeterobjekten untersucht. Hierher sind wohl auch beginnende Fälle zu rechnen mit Skotomen, innerhalb deren nur eine Farbe, etwa Rot, etwas an Sättigung verliert, die übrigen unverändert gesehen werden (z. B. Fuchs[1]).

Für eine genauere Untersuchung der Farbensinnstörung eignen sich naturgemäß nur verhältnismäßig wenig Fälle, nämlich diejenigen mit zentralem (nicht parazentralen) und nicht zu kleinem Skotom bei mäßig herabgesetzter Sehschärfe (etwa nicht unter $^{1}/_{10}$—$^{1}/_{6}$).

Bei drei derartigen Fällen, die ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, entsprach der Untersuchungsbefund mit der Rayleighgleichung, mit dem Nagelschen Farbengleichungsapparat und am Perimeter ebenfalls vollkommen der erworbenen Rotgrünblindheit in verschiedenen Stadien.

Das Auftreten im Gesichtsfeld. Die erste Farbensinnstörung tritt in fast allen Fällen nicht in der Peripherie des Gesichtsfeldes auf, sondern in den zentral gelegenen Partien, wie es ja auch dem Charakter der Neuritis im allgemeinen entspricht. Vor allem ist es die Umgebung des blinden Fleckes, des Fixierpunktes sowie das zwischen beiden liegende Gebiet, das zuerst betroffen wird. In ersterem Falle erscheint der blinde Fleck vergrößert, zunächst für Farben, dann auch für Weiß (jedoch ist dabei zu beachten, daß eine Vergrößerung auch durch Ermüdung vorgetäuscht werden kann).

Van der Hoeve (81) verfolgte in drei Fällen ein derartiges Skotom, Kleijn (83) will sogar in 22 Fällen eine Vergrößerung des blinden Fleckes gefunden haben.

Ein zentrales Farbenskotom wird im allgemeinen weniger leicht übersehen werden, schon wegen der herabgesetzten Sehschärfe, doch können auch bei noch normalem Sehvermögen bereits kleine Objekte (bes. Rot und Grün) ihre Sättigung einbüßen bezw. beginnen ihren Farbenton zu ändern. Kleine umschriebene Skotome zwischen Fixierpunkt und blindem Fleck teilt z. B. v. d. Hoewe mit, auch ich sah mehrmals parazentral zwischen den beiden Punkten gelegene Skotome. Dabei kann der Fixierpunkt

---

[1]) s. bei Birch-Hirschfeld (82 a).

frei sein, oder das Skotom umfaßt in nahezu ovaler Gestalt auch das Zentrum, meist bei gleichzeitig herabgesetzter Sehschärfe, je nach der Intensität der Störung.

Ob wirklich in allen Fällen die Vergrößerung des blinden Fleckes dem zentralen Skotom vorangeht, möchte ich noch dahingestellt sein lassen.

Einer Einengung der peripheren Gesichtsfeldgrenzen für Farben kann nach den bisherigen Erfahrungen nur in seltenen Fällen ein erheblicher Wert für die Frühdiagnose beigemessen werden. Veränderungen der Grenzen für farbige Objekte sind ja an und für sich schon mit Vorsicht aufzunehmen, wenn sie nicht eine gewisse Ausdehnung erreicht haben. Aber auch für Weiß sind Einengungen des Gesichtsfeldes als Frühsymptom recht selten (Grünwald, Birch — Hirschfeld). Henrici und Haeffner haben eine Serie von 37 Fällen, ich selbst eine Serie von 20 Fällen von Nebenhöhlenerkrankungen daraufhin untersucht, um jedesmal völlig normale Grenzen für Weiß zu finden. Selbst bei den mit Sehstörungen einhergehenden Fällen von Nebenhöhlenerkrankung pflegen die peripheren Gesichtsfeldgrenzen meist normal zu sein (Birch-Hirschfeld, Knapp 77, Kleijn 83 s. dort Literatur).

Zweifellos kommt aber eine periphere Einschränkung vor (Kuhnt 69, Ziem 68, Bryan 71, v. der Hoeve 81 u. a.). Sie tritt nach Kuhnt konzentrisch auf, wobei nicht selten der Teil des Gesichtsfeldes, welcher der Höhle abgewandt ist, mehr eingeengt scheint. Die Störung ist stets doppelseitig, wenn auch stärker auf der Seite der Erkrankung und außerdem mit einer Insuffizienz der Mm. recti interni vergesellschaftet, sowie mit weiteren funktionellen bezw. asthenopischen Beschwerden.

Die hypothetische Ursache dieser funktionellen konzentrischen Einengung sieht Kuhnt in einer Resorption eitriger und foetider Massen, Ziem in passiver orbitaler Hyperämie.

Die konzentrische Einengung in Fällen mit schwerer Funktionsstörung (großem zentralem Skotom usw.) sowie bei eingetretener erheblicher sekundärer Atrophie ist ohne diagnostische Bedeutung.

Die Herabsetzung der Sehschärfe hielt in meinen wenigen Fällen annähernd mit der Farbensinnstörung gleichen Schritt, ähnlich wie bei der tabischen Atrophie. Die Funktionsstörung kann bei Nebenhöhlenerkrankungen übrigens jeden Grad bis zur völligen Erblindung erreichen, die gar nicht selten und häufig ganz akut auftritt (Literatur bei Birch-Hirschfeld; 2 eigene Beobachtungen u. a.), meist aber wieder zu einer mehr oder weniger erheblichen Besserung führt.

Die Farbensinn- bezw. Funktionsstörung tritt einseitig, sehr häufig auch doppelseitig auf. Selbst das Anfangssymptom der Vergrößerung des blinden Fleckes will Kleijn 16 Mal unter 22 doppelseitig gefunden haben. Auch in schweren Fällen, selbst bei denen, die vorübergehend zur Erblindung führen, ist das doppelseitige Auftreten nicht selten (Literatur siehe bei Birch-Hirschfeld, ferner van der Hoeve u. a.). Dabei habe ich sowohl die Funktionsstörung auf beiden Augen in gleicher Stärke gefunden, wie auch auf einem Auge geringer ausgesprochen.

Diagnostische Bedeutung. Es soll in jedem Falle von Erkrankung besonders der hinteren Nebenhöhlen, zumal wenn über Kopfschmerzen oder Augenschmerzen geklagt wird, eine Funktions- bezw. Farbensinnprüfung vorgenommen werden, auch wenn noch nicht über Sehstörungen geklagt wird, das Sehvermögen normal ist und der Augenspiegel keine Abweichungen zeigt. Besonders muß neben einer Prüfung der fovealen Farbenempfindung die Umgebung vom Fixierpunkt und vom blinden Fleck bezw. der zwischen beiden liegende Gesichtsfeldteil mit kleinen und nicht zu gesättigten Objekten (wenigstens grün, rot, blau und weiß) abperimetriert werden[1]).

Findet man umgekehrt ein Farbenskotom von dem geschilderten Aussehen, einseitig oder doppelseitig, so soll stets an eine Nebenhöhlenerkrankung gedacht und für eine wiederholte Untersuchung der Nase Sorge getragen werden. Doch ist zu bedenken, daß Art und Ausdehnung der Farbensinnstörung in keiner Weise charakteristisch ist für eine Erkrankung der Nebenhöhlen der Nase; sie findet sich in derselben Weise auch bei anderen organischen Leiden, z. B. der multiplen Sklerose u. a. Auch die Vergrößerung des blinden Fleckes, selbst wenn sie nicht eine Folge der Ermüdung ist, stellt ein nicht seltenes Symptom dar und hat vor allem dann keine besondere diagnostische Bedeutung, wenn sich mit dem Augenspiegel Anhaltspunkte für entsprechende Netzhauterkrankungen ergeben, z.B. Stauungspapille, Staphyloma posticum usw. Vor einer Überschätzung des Zusammenhanges zwischen

[1]) Hierzu eignet sich besonders der Haitzsche Apparat. Als Kontrolle für die Zuverlässigkeit der Angaben des Patienten wird der normale blinde Fleck benutzt.

Sehnerven- und Nebenhöhlenerkrankung ist bereits eingangs gewarnt worden.

Die **Prognose** kann bei nachgewiesener Funktionsstörung im allgemeinen als günstig bezeichnet werden, besonders wenn es sich um kleine und parazentrale Skotome handelt. Häufig ist der günstige Einfluß der Operation der Nebenhöhlen unverkennbar. Die Vergrößerung des blindes Fleckes in Kleijns Fällen verschwand regelmäßig, auch bei van der Hoeve (81) wurde der blinde Fleck wieder normal. Auch das zentrale Farbenskotom, mochte es ganz geringfügig (z. B. Fuchs) oder hochgradig sein, selbst völlige Erblindung verschwand nach der Operation entweder vollkommen oder es trat wenigstens erhebliche Verbesserung der Sehschärfe ein (Paunz 78, Birch-Hirschfeld, van der Hoeve 81, Delneuville 74, Knapp 77, Rethi 76 u. viele a., sowie eigene Fälle). Andererseits gibt es auch Fälle, welche trotz relativ frühzeitiger Behandlung zur sekundären Atrophie und zur weiteren Abnahme der Funktion führen (z. B. A. Gutmann 85). Daß bei bereits sichtbarer Atrophie der Papille die Aussichten auf Wiederherstellung der Funktionen geringere sind, braucht kaum erwähnt zu werden.

Kleinere Schwankungen während des Verlaufes und während der Behandlung sind ebenfalls beschrieben, doch wolle man sich vor Beobachtungsfehlern seitens der Patienten hüten.

Die Vergrößerung des blinden Fleckes, die van der Hoeve beschreibt, soll in einem Falle bei plötzlichem Eiterabfluß aus der Nase geschwunden sein, um bei Retention erneut aufzutreten. Während der Tamponade fand er mehrmals eine vorübergehende Zunahme des Skotoms am blinden Fleck, die auf Toxinretention zurückgeführt wird. In anderen Fällen soll auch unter der Tamponade Besserung aufgetreten sein infolge des günstigen Einflusses der veränderten zirkulatorischen Verhältnisse.

Multiple Sklerose.

Die beobachteten Farbensinnstörungen beschränken sich bis jetzt wiederum auf die progressive Rotgrünblindheit (bezw. totale Farbenblindheit).

Wenigstens ergeben die in der Literatur mitgeteilten Untersuchungen mit farbigen Perimeterobjekten, daß durchgängig die Empfindung roter und grüner Objekte in höherem Maße gelitten hatte, wie die gelber und blauer. Bei Untersuchung mit der Rayleighgleichung sah ich stets die charakteristische Verbreiterung des Rotgrünmischungsverhältnisses (S. 159). Am Helmholtzschen Spektralfarbenmischapparat stellte ich in einem Falle mit beginnender Farbensinnstörung — es lag noch ein trichromatisches System (für die gewählte Versuchsanordnung) vor — eine mäßige aber deutliche Verbreiterung der langwelligen (roten) Endstrecke des Spektrums nach dem Gelb hin fest, sowie eine erhebliche Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit für Lichter verschiedener Wellenlänge in der Gegend des Thalliumgrüns (um 436 $\mu\mu$).

Das Auftreten der Farbensinnstörung im Gesichtsfeld ist wechselnd und entspricht wiederum vollkommen den Gesichtsfeldstörungen für weiße Objekte bei der multiplen Sklerose.

Am häufigsten findet man auch hier wieder das zentrale Skotom mit durchaus wechselnder Größe und Intensität der Funktionsstörung. Wie bei den Erkrankungen der Nebenhöhlen der Nase kann die erste Störung zwischen blindem Fleck und Fixierpunkt oder an ersterem liegen. Außerdem wird auch eine mehr oder weniger regelmäßige Einengung der peripheren Gesichtsfeldgrenzen beobachtet entweder ohne erhebliche Beeinträchtigung der Funktionen in den zentralen Gesichtsfeldteilen oder — häufiger — in Kombination mit zentralen Skotomen.

Bei einer regelmäßigen konzentrischen Einengung der Grenzen im Gesichtsfelde muß an Hysterie gedacht werden, welche die multiple Sklerose begleiten kann (Uhthoff 73). Selten wurden Ringskotome beobachtet (Uhthoff, Wilbrand und Sänger). Eine Erklärung für diese immerhin merkwürdige Form ist ohne genaue Prüfung aller Empfindungsqualitäten auch des zentralen Gesichtsfeldbezirkes nicht möglich.

Sehschärfe und Farbenempfindung pflegen in der Mehrzahl der Fälle annähernd in gleichem Maße abzunehmen. Doch ist es sehr zweifelhaft, ob bei den häufigen Schwankungen der Funktionsstörung dieses Parallelgehen immer eingehalten wird.

Die **diagnostische Bedeutung** der Farbensinnstörung beruht in der genaueren Bestimmung des jeweiligen Grades der Funktionsstörung; besonders aber die Frühdiagnose gelingt zuweilen nur mit Hülfe einer sorgfältigen Farbensinnprüfung; auch bei ganz normalem Sehvermögen konnte mehrmals bereits schon das beginnende Skotom nachgewiesen werden.

Prognostisch ist die Farbensinnstörung durchaus kein ungünstiges Zeichen. Sie kann auch in schweren Fällen recht bald wieder weichen, sodaß schließlich nahezu normale Funktionen wiederkehren, auch wenn eine weiße Verfärbung der Papille sichtbar ist. Bei genauerer Prüfung entdeckt man dann zuweilen noch den Rest eines Skotoms schwach angedeutet (besonders leichte Sättigungsabnahme der Farben in seinem Bereich). (Vergl. die allgemeinen Ausführungen bei der Neuritis.)

4. Chiasma.

Die Funktionsherabsetzung in Gestalt der progressiven Rotgrünblindheit ist hier charakterisiert durch das eigentümliche Auftreten im Gesichtsfeld, durch die bitemporale Hemianopsie, die, wenn auch nicht immer, so doch meistenteils nachweisbar ist.

Die Farbensinnstörung kann überall dort vorkommen, wo die bitemporale Hemianopsie überhaupt beobachtet wird. In erster Linie sind es die Hypophysistumoren, ferner basal-luetische Erkrankungen usw. Besonders bei den Hypophysistumoren, mit und ohne Akromegalie, ist frühzeitig die Herabsetzung der Farbenempfindung in den temporalen Gesichtsfeldhälften nachweisbar, oft schon zu einer Zeit, wo auch bei sorgfältigem Perimetrieren mit den üblichen weißen Quadraten noch keine Störung gefunden werden kann, sodaß gerade hier die Farbensinnprüfung einen großen diagnostischen Wert besitzt.

Der Grad der bitemporalen Farbenblindheit kann aber eine sehr wechselnde Höhe erreichen. Einen ungefähren Anhaltspunkt bietet dafür die Größe der farbigen Quadrate, für die der Gesichtsfeldausfall (spezifische Grenzen, nicht absolute! s. S. 26) besteht. In beginnenden Fällen erscheinen die spezifischen Gesichtsfeldgrenzen für farbige Objekte von 1—2 cm Seitenlänge noch unverändert; prüft man aber mit Quadraten von 1 mm Seitenlänge, so ist man zuweilen überrascht, eine nahezu vollkommene bitemporale Farbenhemianopsie zu finden, die bis an den Fixierpunkt reichen kann, natürlich für grüne und rote Objekte stärker ausgeprägt, als für blaue. In schwereren Fällen besteht dann auch für große farbige Objekte ein mehr oder weniger vollkommener Ausfall.

Über die Form der bitemporalen Defekte sind noch einige Besonderheiten zu erwähnen. Die Übereinstimmung der beiderseitigen Ausfälle ist, ganz abgesehen von den bei Farbengrenzen unvermeidlichen kleinen Beobachtungsschwankungen, keineswegs eine so vollkommene, wie bei der homonymen Hemianopsie, wenn auch im großen und ganzen die Symmetrie unverkennbar ist (vergl. Fig. 29). Hervorzuheben sind ferner vor allem:

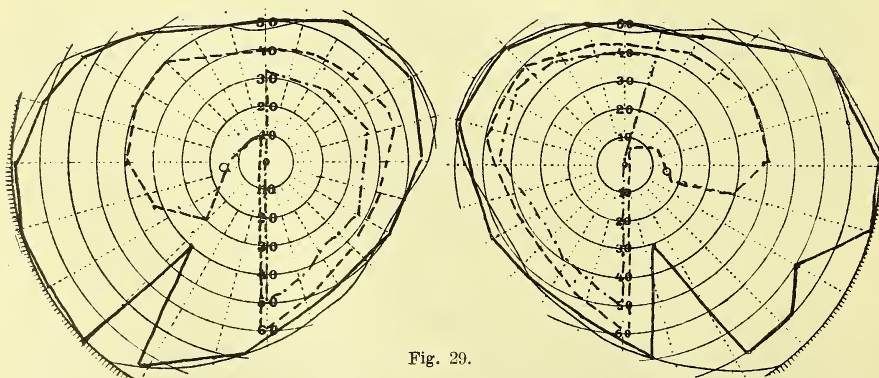


Fig. 29.

Bitemporale Farben-Hemianopsie bei Hypophysistumor.

— — — Grenze für blaue Objekte (20 mm)
—·—·—·— ,, ,, rote ,, (20 mm)
——— ,, ,, weisse ,, (20 mm)

a) Das besonders im Anfang nicht seltene Auftreten von bitemporal gelegenen Skotomen, besonders auch von zentralen Skotomen. Ja es kann sogar auf einem Auge allein bei flüchtiger Prüfung ein zentrales Skotom mit progressiver Rotgrünblindheit sich ergeben und so eine reine periphere Sehnervenerkrankung vortäuschen. Bei genauerer Prüfung findet man allerdings meist noch weitere bitemporale Defekte der Farbenempfindung.

Hierin unterscheidet sich also die Funktionsstörung von der kortikalen homonymen Hemianopsie, bei der gerade die zentralen Gesichtsfeldpartien meist (nicht immer) ausgespart bleiben (sog. makulare Aussparung).

b) Ausbiegen der Trennungslinie zwischen den farbenblinden und den erhaltenen Bezirken nach der einen oder anderen Seite, ohne sich an die vertikale Mittellinie zu halten. Auf einem oder beiden Augen kann sich dabei die Funktionsstörung weit in die nasale Gesichtsfeldhälfte — bis zum völligen Ausfall — erstrecken.

c) Steile sektorenförmige Ausfälle von der Peripherie ausgehend nach dem Zentrum des Gesichtsfeldes. Daher ist eine Bestimmung in sämtlichen Meridianen, wenigstens für eine Farbe (bezw. Weiß) erwünscht. (Für alle farbigen Objekte ist sie unzweckmäßig wegen der Dauer der Untersuchung und der damit verbundenen Ermüdung.)

Farbensinn und Sehschärfe scheinen nach den bisherigen Beobachtungen annähernd parallel zu sinken, ebenso die Empfindung für Schwarz-weiß, also der Lichtsinn[1]). In vielen Fällen von bitemporaler Farbensinnstörung bei Hypophysistumoren sah ich die exzentrische Sehschärfe (Snellensche Probebuchstaben) in den temporalen Hälften erheblich beeinträchtigt gegenüber der nasalen. Gleichzeitig klagen dann die Patienten auch darüber, daß sie nach beiden Seiten hin undeutlich sehen. Benutzt man am Perimeter weiße Quadrate von erheblich kleinerem Umfange wie bei den farbigen, so kann man auch auf diese Weise die Gesichtsfelddefekte vergrößern.

Eine Hemianopsie für Farben ohne gleichzeitige Raumsinnstörung ist jedenfalls bisher bei Chiasmaerkrankung bis jetzt noch nicht beobachtet worden.

Prognostisch ist auch hier wieder die Rotgrünblindheit weder als Zeichen dafür anzusehen, daß der betreffende Gesichtsfeldbezirk allmählich der Erblindung anheimfällt, noch daß die Funktionsstörung eine dauernde ist. Es kann überall eine mehr

---

[1]) Die Versuche Behrs (102), das Verhalten der Dunkeladaptation differentialdiagnostisch für die Ätiologie der Sehstörung zu verwerten, bedürfen noch der Nachprüfung.

oder weniger vollkommene Wiederherstellung des früheren Farben- und Raumsinnes erfolgen (soweit es der zu Grunde liegende Krankheitsprozeß gestattet). Ja gerade bei Hypophysistumoren kommen spontane Besserungen in ausgedehntem Grade nicht selten vor, wie aus zahlreichen Beobachtungen in der Literatur und mehreren eigenen hervorgeht. Sie können längere Zeit, selbst ein Jahr lang, anhalten, allerdings um später wieder zu einem neuen Verfall zu führen, wenn die Beseitigung des Tumors nicht gelingt.

Diese spontanen Remissionen sind bei der Beurteilung scheinbarer Heilerfolge mit Hypophysistabletten zu beachten. Sie wurden von einigen Autoren anatomisch z. Teil auf Platzen von Cysten sowie auf Resorption von Blutungen innerhalb der Tumoren zurückgeführt.

Für die **Frühdiagnose** von Chiasmaerkrankungen, besonders bei Verdacht auf Hypophysistumoren ist die sorgfältige Untersuchung auf Farbensinnstörung im Gesichtsfeld von großer Wichtigkeit, da weder Gesichtsfeldstörungen für weiße Objekte noch eine Herabsetzung der zentralen Sehschärfe noch auch eine sichtbare Veränderung an den Papillen vorhanden zu sein braucht.

Es empfiehlt sich in solchen Fällen erstens die Grenzen des Gesichtsfeldes wenigstens für Weiß in möglichst vielen Meridianen aufzunehmen, ebenso in einigen Meridianen für große (20 mm) farbige Quadrate. Zweitens aber die Umgebung des Fixierpunktes auf bitemporal gelegene kleine Ausfälle mit 1 mm großen farbigen Objekten abzusuchen (empfehlenswert ist der Haitzsche Apparat, s. später).

5. Die Sehbahnen vom Chiasma bis zur Hirnrinde.

Das Auftreten der progressiven Rotgrünblindheit im Gesichtsfeld vollzieht sich nunmehr bei Erkrankungen des Tractus, der Sehstrahlung und der Rinde nur noch ausschließlich im Sinne der homonymen Hemiachromatopsie oder Farbenhemianopsie (periphere Ausfälle und homonyme Skotome).

Hierbei bildet natürlich immer wieder die Farbensinnstörung nur eine Vorstufe zum völligen Funktionsausfall, stellt also eine „relative“ Hemianopsie dar, im Gegensatz zur gewöhnlichen „absoluten“ auch für weiße Objekte. Die Zerstörung eines besonderen Farbensinnzentrums darf aus dem Auftreten einer Hemiachromatopsie ohne weiteres niemals geschlossen werden.

Die Farbenblindheit kann entsprechend dem Verhalten der Hemianopsien überhaupt auftreten

a) als einseitige homonyme Hemiachromatopsie; sie kommt sowohl rechts- wie linksseitig vor.

b) als doppelseitige Farbenhemianopsie.

Jedesmal kann der Ausfall vollkommen oder nur partiell sein, wie bei der Untersuchung mit weißen Objekten, und jedes Mal kann eine vollkommene oder unvollkommene Hemianopsie für weiße Objekte die Farbensinnstörung begleiten.

Kongruenz der Defekte. Die homonymen Defekte für Farben sind ebenso wie die Ausfälle für Weiß im allgemeinen genau kongruent, besonders in der Nähe des Fixierpunktes. Dabei ist vorausgesetzt, daß nicht gleichzeitig infolge einseitiger Netzhaut- oder Sehnervenerkrankung (Neuritis, Atrophie usw.) eine weitere Farbensinnstörung auftritt, sodaß hierdurch die Gesichtsfelddefekte verschiedene Größe erhalten. Bei Traktuserkrankungen kann eine Beteiligung des Sehnerven naturgemäß leichter vorkommen.

Trotzdem werden zuweilen deutliche Asymmetrien der Defekte für Farben wie für Weiß beobachtet. Lenz (99) fand unter 34 Fällen 31 vollkommene oder fast vollkommene Übereinstimmung der Defekte auf beiden Augen. Kleinere Differenzen zwischen beiden Augen erklären sich leicht aus Beobachtungsfehlern, da gerade beim Perimetrieren mit Farben die genaue Bestimmung der peripheren Gesichtsfeldgrenzen sehr schwer ist (vergl. auch Lenz 100). In selteneren Fällen ist allerdings die Inkongruenz zu groß, als daß sie auf Beobachtungsfehlern beruhen könnte (z. B. Fall 12 bei Lenz 99). Für derartige Fälle nimmt Lenz individuell verschiedene Verlagerungen innerhalb der Sehbahn an.

Die doppelseitigen Farbenhemianopsien, die seltener vorkommen, beanspruchen deswegen ein größeres Interesse, weil es sich bei ihnen meist um Erkrankungen der Hinterhauptsrinde handelt. Es ergeben sich, wenn man will, für die Gesichtsfeldstörung folgende Unterarten:

1. Farbensinnstörung im ganzen Gesichtsfeld (auch im Makulagebiet):

α) Das Gesichtsfeld für weiße Objekte bleibt vollkommen intakt[1]); Fälle sind mitgeteilt von Steffan (89), Alexander (s. Leber 88).

β) Das Gesichtsfeld für Weiß zeigt gleichzeitig eine einseitige homonyme Hemianopsie. Diese wird wohl meist rechtsseitig beobachtet (z. B. Schöler-Uhthoff 91), ist aber von Quaglino (87) auch linksseitig (unvollkommen) beschrieben.

γ) Auch für Weiß besteht eine doppelseitige Hemianopsie mit typischer Aussparung des zentralen Teiles des Gesichtsfeldes, z. B. ein Fall von Mackay und Dunlop (98) ferner von Siemerling (94).

[1]) Wenn man mit absteigender Objektgröße untersucht, so kann man mit kleineren weißen Quadraten oft ebenfalls eine hemianopische Störung nachweisen (vergl. unter „Farbensinn und Raumsinn").

2. Die Farbensinnstörung ist zwar doppelseitig, aber nur partiell. Meist ist dabei der makulare Bezirk des Gesichtsfeldes am besten erhalten, ebenso wie bei der typischen doppelseitigen Hemianopsie für Weiß (z. B. 1 Fall von Lenz 99), doch ist ein Ausfall auch der makularen Farbenempfindung lediglich mit Erhaltung einer peripheren Insel beschrieben (Lenz 99). Das Gesichtsfeld für Weiß kann wiederum in der eben skizzierten Weise gleichzeitig mitbetroffen sein.

So ergeben sich zahlreiche Kombinationsmöglichkeiten des Gesichtsfelds und es braucht kaum erwähnt zu werden, daß bei ein und demselben Fall nacheinander verschiedene Formen durchlaufen werden können; ja der ganze Prozeß kann mit Erblindung anfangen. Mehrere der veröffentlichten und z. T. bereits genannten Fälle zeigen dieses Verhalten.

Der Grad der Rotgrünblindheit im Bereiche der Defekte kann ein ganz verschiedener sein. Zuweilen ist die Störung in den zentralen Gesichtsfeldpartien nur mit kleinen Objekten von 1 mm Seitenlänge (z. B. am Haitzschen Apparat) nachweisbar. Häufig ist der Ausfall allerdings schon für größere Perimeterquadrate (10—20 mm) ein totaler (Stadium der totalen Farbenblindheit). Auch dann läßt sich aber zuweilen noch mit großen farbigen Flächen eine Differenzierung des Farbensinnes im Sinne einer Blaugelbempfindung erreichen (entsprechend dem Charakter der progressiven Rotgrünblindheit).

In den zahlreich beobachteten Fällen ist die Untersuchung in der Regel durch Benennenlassen farbiger Papiere bezw. am Perimeter erfolgt. Das Stadium der totalen Farbenblindheit wurde z. B. von Uhthoff-Schöler (91) und Siemerling-König (94) wenigstens mit Pigmentfarben (Gleichungen am Farbenkreisel) genauer geprüft: Das Helligkeitsverhältnis, in welchem die Patienten die Farben sahen, stimmte dabei mit dem überein, in welchem auch der Normale die Farben sieht (s. u. totaler Farbenblindheit S. 195).

Die Häufigkeit einer Farbenhemianopsie im Verhältnis zu den Hemianopsien überhaupt stellt sich nach Lenz (100) auf 5: 76 (6,5%). Diese Zahlen bieten natürlich nur einen ganz ungefähren Anhalt. Wenn jeder Fall von Hemianopsie im ganzen Gesichtsfelde genau auf Farbenempfindung untersucht würde, und alle kleinen partiellen Ausfälle der Farbenempfindung bei erhaltener Wahrnehmung weißer Objekte mitberücksichtigt würden, dürfte der Prozentsatz erheblich steigen (wie auch Lenz hervorhebt).

Vorkommen. Bei Tractuserkrankungen sind homonyme Farbenhemianopsien mehrmals klinisch beobachtet worden, besonders bei luetischen Erkrankungen der Hirnbasis (z. B. Lenz), ebenso

auch bei Tumoren (Sarkom, Gliosarkom), die den Tractus ergriffen bezw. komprimiert hatten (Uhthoff 96, Samelsohn 95)[1]).

Hirnblutungen stellen augenscheinlich die häufigste Ursache der Farbenhemianopsie dar. (Nach Sektionsbefunden findet sie sich im Verhältnis zu den Hemianopsien überhaupt wie 2:36 = 5,6%, Lenz 100).

Bei Hirnerweichung wurde kein Sektionsfall reiner Farbenhemianopsie beobachtet. Lenz hält dieses Zusammentreffen für keinen Zufall und erklärt diese Erscheinung mit der stärker schädigenden und andauernden Fernwirkung, welche Blutungen haben, die in der Nähe der optischen Bahnen bezw. Zentren sitzen und diese nicht direkt zerstört haben.

Klinisch wurden Farbenhemianopsien auch bei Tumoren (z. B. Bordley und Cushing 101) sowie Abszessen (Bramwell 103) u. a. m. nachgewiesen. Partielle Farbensinnstörungen besonders in der Umgebung homonymer absoluter Gesichtsfelddefekte sind eine häufigere Erscheinung. Sie kommen bei Verletzungen eines Teiles der Sehbahn, z. B. Schußverletzung (Lenz 99), bei Encephalitis usw. vor.

Die Frage, ob ein räumlich getrenntes Feld der Hirnrinde existiert, in welchem der Farbensinn getrennt vom Raumsinn usw. zu suchen wäre, ist anatomisch noch nicht entschieden (siehe auch unter Theorien), es fehlt bis jetzt dafür jeder Anhaltspunkt.

Jedenfalls kommen ebenso wie bei Läsionen der peripheren optischen Bahnen im Tractus, so auch bei Erkrankungen im Bereiche der Sehstrahlung und der Calcarinaformation Farbensinnstörungen vor. Als Beispiel seien folgende Sektionsbefunde erwähnt:

Im Falle Mackay und Dunlops (98) (doppelseit. Hemianopsie mit Farbensinnstörung in den erhaltenen Teilen) bestand eine Atrophie des hinteren Teiles des Temporo-Occipitalwindungen. Links war eine kleine Partie der grauen Substanz der Fissura calcarina ergriffen. Außerdem war beiderseits der untere Rand der Sehstrahlung beteiligt.

Bei Lenz' (100) Fall (Tumor, partielle homonyme Hemianopsie für Farben, z. T. auch für Weiß) war das erheblich affizierte Gebiet folgendes: Fast der ganze obere Cuneus, vielleicht mit Ausnahme der hintersten 1,5 cm, der unterste Abschnitt des Cuneus von 2 cm an nach vorn, ebenso der cuneale Anteil der Calcarina und die ganze Fiss. calcarina von 2,9 cm an.

Subjektive Störungen. Wenn die Funktionsstörung plötzlich, apoplektiform auftritt und einen erheblichen, bes. den zentralen Teil des Gesichtsfeldes einnimmt, fällt sie meist den Patienten sehr lebhaft und störend auf, vorausgesetzt, daß nicht

[1]) Die beiden letzteren Fälle mit Sektionsbefund.

schwere psychische Störungen das Erinnerungsvermögens betroffen haben. Die Umgebung erscheint ihnen je nach dem Grade der Störung mehr oder weniger blaß, fahl, namentlich die Gesichter der Personen, welche an das Krankenbett herantreten.

Gleichzeitig mit der Farbensinnstörung, natürlich auch ohne sie, können vielgestaltete subjektive Störungen auftreten, farbiges Flimmern, Flammensehen, Farbigsehen, Halluzinationen aller Art, auf die näher einzugehen verzichtet werden kann[1]). Interessant ist, daß sie auch in vollkommen hemianopischen Gesichtsfeldhälften auftreten, also unabhängig von dem Lichtreiz sind. Sie können sehr lästig werden und Tage lang anhalten.

Farbensinn und Raumsinn.

Wir hatten gesehen, daß bei einer Erkrankung der Leitungsbahnen, vom Bulbus angefangen bis hin zur Rinde, bei Auftreten der progressiven Rotgrünblindheit stets der Raumsinn gleichzeitig mehr oder weniger leidet. Jedenfalls ist im fovealen (direkten) Sehen, wo sich diese Verhältnisse ja am leichtesten verfolgen lassen, bis jetzt noch keine hochgradige erworbene Rotgrünblindheit bezw. totale Farbenblindheit beobachtet worden bei völlig normaler Sehschärfe (vergl. S. 178).

Anders liegen die Verhältnisse jedoch bei der Farbenblindheit, die am kortikalen Ende der Sehbahn entsteht. Es ist eine für die Auffassung unseres gesamten Sehens wichtige und fesselnde Frage, ob hier eine erworbene isolierte Farbenblindheit vorkommt ohne gleichzeitige Beteiligung des Raumsinnes.

Diese Frage kann nach den bisherigen Beobachtungen bejaht werden.

Zweifellos ist allerdings auch hier in der Mehrzahl der Fälle der Raumsinn sowie das Sehen der tonfreien Farben (Lichtsinn in engerem Sinne nach Hering) entsprechend herabgesetzt, ganz, wie bei der bitemporalen Hemianopsie infolge Chiasmaerkrankungen oder bei der tabischen Sehnervenatrophie.

Man kann sich in entsprechenden Fällen davon leicht überzeugen, wenn man entweder mit kleinen weißen (bezw. schwarzen) Objekten (Buchstaben, Quadrate) oder mit grauen bezw. gegen den Untergrund wenig kontrastierenden untersucht, die Hemianopsie tritt dann gegenüber der gesunden Seite deutlich hervor.

Als Beispiel sei genannt von Meisling (97) eine linksseitige, von Eperon (92) eine rechtsseitige Hemiachromatopsie mit Raumsinnstörung; ferner Siemerlings Fall mit totaler Farbenblindheit und gleichzeitiger hochgradiger Herabsetzung der Sehschärfe.

---

[1]) Eine Zusammenstellung ist bei Lenz (100) angegeben.

Dagegen ließ sich in einigen Fällen das Fehlen einer merklichen Raumsinnstörung feststellen. Hier war bei normaler Sehschärfe im ganzen Gesichtsfeld, auch im fovealen Sehen, apoplektiform eine totale Farbenblindheit aufgetreten.

Einen derartigen Fall berichtet Steffan (89). Auch der Fall von Alexander (88) dürfte hierher gehören, obwohl über die Entstehung bezw. über die Lokalisation des Krankheitsherdes nähere klinische Angaben fehlen. Schöler-Uhthoff berichten ebenfalls über einen Patienten, bei dem nach anfänglicher Erblindung sich das Sehvermögen auf ½ hob, aber eine totale Farbenblindheit bestehen blieb (s. S. ...), zugleich mit rechtsseitiger Hemianopsie für weiße Objekte. Wahrscheinlich bestand auch in Quaglinos Fall eine nahezu normale Sehschärfe trotz totaler Farbenblindheit im ganzen Gesichtsfeld. Der von Pergens mitgeteilte Fall (s. S. 195) kann hier nicht berücksichtigt werden, da der Sektionsbefund keinen Anhalt für einen kortikalen Herd bot.

Auch halbseitige homonyme Farbenblindheit ohne daselbst nachweisbare größere Raumsinnstörung ist beobachtet worden (z. B. Samelsohn 90).

Auch hiermit ist durchaus noch nicht erwiesen, daß nun auch ein räumlich abgesondertes kortikales Farbensinnzentrum existiert. Auf die sich ergebenden theoretischen Möglichkeiten wird an anderer Stelle eingegangen werden. Übrigens darf nicht vergessen werden, daß möglicherweise in jedem der Fälle bei dem Einsetzen der Funktionsstörung ursprünglich auch der Raumsinn in Verlust geraten war und sich erst später wieder hergestellt hatte. In mehreren der angeführten Fälle wurde ausdrücklich mitgeteilt, daß anfänglich eine Erblindung bestand. In den übrigen wurde den Patienten, wie gewöhnlich, „schwarz vor den Augen".

Die Prognose einer Hemiachromatopsie für die Wiederherstellung der Funktionen ist als dubia zu bezeichnen und hängt wohl hauptsächlich davon ab, ob die Herderkrankung die Sehbahn direkt betroffen oder nur im Sinne einer Fernwirkung in Mitleidenschaft gezogen hat. Zweifellos kann die Farbenempfindung, bezw. auch gleichzeitig die Sehschärfe, wieder zurückkehren, wenn auch meist eine geringe Herabsetzung bestehen zu bleiben scheint: die Farben erscheinen entweder im ganzen Gesichtsfelde oder in den betreffenden Hälften „blasser", ungesättigter (z. B. Meisling 97, Siemerling 94). Die Rückkehr einer derartigen totalen Farbenblindheit nimmt wieder ihren gewissermaßen gesetzmäßigen Weg über das Stadium der Rotgrünblindheit (z. B. Fall Steffan 89).

Der Zeitraum, innerhalb dessen die Besserung sich vollzieht, kann sich über mehrere Jahre erstrecken. Bei Alexander (88) blieb z. B. die totale Farbensinnstörung 2 Jahre lang unverändert bestehen, und Steffan sah erst 4 Jahre nach dem apoplektischen Anfall, welcher die totale Farbenblindheit ausgelöst hatte, das Stadium der Rotgrünblindheit zurückkehren.

Nicht selten setzt natürlich eine neue Apoplexie dem Leben der Patienten ein Ziel und vereitelt so eine längere Beobachtung.

Die diagnostische Bedeutung der Farbensinnstörung liegt ja im wesentlichen in der hemianopischen Gesichtsfeldform, die uns auf die zentralen Sehbahnen hinweist, zumal wenn eine typische Makulaaussparung vorliegt. Eine Rindenläsion darf wohl in den Fällen angenommen werden, wo der Farbensinn bei erhaltenem Raumsinn in Verlust geraten ist; doch sind beweisende Sektionsbefunde noch sehr erwünscht.

Den Halluzinationen, welche die Kranken in den Raum hinaus im Bereiche hemianopischer Gesichtsfelddefekte projizieren, hat Wilbrand eine gewisse Bedeutung beigemessen, insofern er in diesen Fällen eine Intaktheit des optischen Raumwahrnehmungszentrums voraussetzt. Jedoch lassen sie sich für die Lokalisation einer Herderkrankung peripherwärts von der Hirnrinde nicht in allen Fällen diagnostisch verwerten, wie Lenz (100) an der Hand von mehreren Sektionsbefunden der Literatur zeigt; denn bei diesen war trotz Halluzinationen in den hemianopischen Hälften die kortikale Sehsphäre mitbetroffen.

D. Funktionelle und vasomotorische Neurosen.

Die meisten der hierher gehörenden Störungen wie Hysterie, traumatische Neurose, Neurasthenie, Epilepsie usw. weisen vor allem 2 Symptome auf, die sich zwar nicht konstant finden, aber doch recht häufig beobachtet werden, nämlich die konzentrische Einengung der Gesichtsfeldgrenzen für Farben (mit oder ohne Einengung der Grenzen für Weiß) und subjektives Farbensehen (Chromatopie).

Einige gemeinsame Bemerkungen über beide Störungen scheinen mir am Platze.

Die **konzentrische Einengung der Farbengrenzen** hat ihren Ursprung im allgemeinen nicht in einer Herabsetzung der Leitungsfähigkeit der Sehbahnen oder der Erregbarkeit der kortikalen Sehzentren für emporgeleitete Lichtreize, wie bei den organischen Erkrankungen der Sehbahn. Die Ursache ist vielmehr eine psychische, und zwar kommen vorwiegend zwei Faktoren in Betracht, nämlich a) eine Störung der Aufmerksamkeit und b) die Vorstellung des Schlechtsehens (Klien 116a).

Daß die Störung der Aufmerksamkeit einen großen Einfluß auf die Grenzen des Gesichtsfeldes besonders für farbige Objekte haben muß, wird jedem einleuchten, der sich daran

erinnert, daß auch für den Normalen bereits dieser Faktor wesentlich in Betracht kommt. In der Tat kann man wohl darauf bei einer ganzen Reihe von Erkrankungen des Nervensystems die beobachtete konzentrische Einengung wenigstens in der Hauptsache zurückführen, so häufig bei der Neurasthenie, bei epileptischen Dämmerzuständen, bei Alkoholismus, bei vielen Intoxikationen, bei Angstzuständen, Depressionen und schließlich auch als Begleiterscheinung bei vielen organischen Hirnleiden.

Ob die Herabsetzung der Aufmerksamkeit als alleinige Ursache in Betracht kommt, soll dabei natürlich dahingestellt bleiben. Nach Kliens Ansicht handelt es sich physiologisch gesprochen um eine diffuse Hirnstörung, durch welche in erster Linie und am stärksten die höheren psychischen Zentren der Wahrnehmung geschädigt werden, durch welche aber unter Umständen auch die Sinneszentren selbst in ihrer Erregbarkeit herabgesetzt werden könnten.

In derartigen Fällen macht man bald die Beobachtung, daß bei länger dauernder Untersuchung wegen Erschlaffens der Aufmerksamkeit die Einengung der Gesichtsfeldgrenzen zunimmt, es tritt eine starke Ermüdung auf. Dabei unterliegt der Grad der Einengung oft ziemlich lebhaften Schwankungen, besonders wenn man die Beobachter von Zeit zu Zeit auffordert, ihre Aufmerksamkeit wieder anzustrengen. Die Grenzen können dadurch eine ungenaue oder zackige Gestalt erhalten. Auch zeigt sich, daß ein einmal vorhandener Bewußtseinsinhalt stark festgehalten wird und langsamer als normal durch einen neuen Eindruck ersetzt werden kann. Dadurch kann ein Symptom auftreten, daß Klien als negativen Verschiebungstypus hervorhebt und das für die Diagnose mit verwertet werden kann: prüft man die Grenzen bei zentrifugaler Objektführung, so wird der Eindruck des farbigen Objekts festgehalten und die Grenzen können erheblich weiter ausfallen als bei zentripetaler, wo umgekehrt der farblose Eindruck des z. B. grünen Quadrates länger haftet. Die Ermüdung muß sich für beide Augen etwa in gleicher Weise zeigen, sofern man die Vorsichtsmaßregel gebraucht, beide Augen abwechselnd in kurzem Zeitraum zu prüfen.

Die Vorstellung des Schlechtsehens veranlaßt die konzentrische Einengung der Grenzen vor allem bei der Hysterie, der nahe verwandten Unfallneurose, sowie auch bei der Simulation; denn wodurch die Vorstellung des Schlechtsehens bedingt ist, bleibt zunächst gleichgültig (s. S. 312). Infolgedessen pflegt sich die Einengung besonders oder nur dann zu zeigen, wenn die Aufmerksamkeit auf die Funktion des oder der Augen gerichtet ist. So treten die bekannten Erscheinungen auf, daß bei hochgradiger konzentrischer Einengung beider Augen trotzdem

eine Orientierung im Raume wie normal möglich ist; ferner, daß eine einseitige Störung verschwindet, sowie der Patient die Vorstellung hat, mit beiden Augen gleichzeitig oder allein mit dem anderen Auge zu sehen. Hierauf beruht dann das „Hereinfallen" auf die gebräuchlichen Simulationsproben, das sowohl bei Hysterie, Unfallneurose wie bei Simulation vorhanden ist. Ja bei der Hysterie tritt es oft prompter ein als bei der Simulation, weil den Hysterischen das kritische Überlegen meist abgeht, das der Simulant oft besitzt (G r e e f f u. a.).

Es ist somit verständlich, daß bei dieser Art der konzentrischen Einengung die Symptome der Aufmerksamkeitserschlaffung nicht ausgesprochen sind.

Dafür besteht jedoch im einzelnen Falle die Möglichkeit des Nachweises, daß die Vorstellung des Schlechtsehens die Ursache der Einengung bildet: man ändert die Beobachtungsbedingungen für den Patienten mehrfach, dann muß er sich mit seiner Vorstellung entweder jedes Mal folgerichtig anpassen, oder es ergeben sich, wenn er dazu nicht im Stande ist, deutliche Abweichungen von dem Verhalten, das ein wirklich schlecht Sehender zeigen muß: Der Patient wird „entlarvt" (in diesem Wort liegt noch lange nicht der Begriff der Simulation).

Zu diesen Änderungen der Beobachtungsbedingungen gehören in erster Linie alle die Proben, welche den einäugig schlecht sehenden Patienten glauben lassen, er sähe gleichzeitig oder allein mit seinem gesunden Auge, während er in Wahrheit mit seinem „schlecht sehenden" weiter sieht.

Hierher gehört ferner das Untersuchen in verschiedener Entfernung (auf „röhrenförmiges" Gesichtsfeld) und schließlich die Methode der Gesichtsfeldprüfung bei abgelenkter Fixation (S. 305). Die Verschiedenheiten, welche sich auf diese Weise bei den Patienten ergeben können, hängen im wesentlichen von ihrer Intelligenz ab, d. h. davon, inwieweit es ihnen möglich ist, ihre eigenen physiologischen Vorstellungen und Kombinationen mit der notwendigen Schnelligkeit mit den wahren optischen Gesetzen in Einklang zu bringen.

Für die Unterscheidung der konzentrischen Einengung der Farbengrenzen (und auch für Weiß) als Aufmerksamkeitsstörung, als Vorstellungsfolge und als Ausdruck der Funktionsstörung innerhalb der Sehbahn, z. B. infolge organischer Erkrankungen, möge folgende Übersicht als Anhaltspunkt gelten:

1. Konzentr. Einengung infolge Störung der Aufmerksamkeit.	2. Konzentr. Einengung infolge Vorstellung des Schlechtsehens.	3. Konzentr. Einengung infolge Funktionsstörung innerhalb der Sehbahn.
Farbengrenzen oft sehr unregelmäßig und zackig; bei mehrfachen Untersuchungen oft sehr wechselnde Angaben. Zeichen stärkerer Ermüdung. Deutliche z. B. beträchtliche negative Differenz bei zentrifugaler und zentripetaler Untersuchung (bei ersterer Grenzen weiter als bei letzteren).	Farbengrenzen zuweilen auffallend regelmäßig konzentrisch verlaufend, oft aber auch wie bei 1. Reihenfolge der Farben kann normal, aber auch verkehrt sein. Eine negative Differenz bei zentripetaler und -fugaler Prüfung scheint kaum vorzukommen.	Farbengrenzen (außer bei Erkrankung der perzipierend. Netzhautschicht) in der normalen Reihenfolge (Blau am weitesten, Grün am engsten (S. 189). Sie können zuweilen nahe zuzusammenfallen u. sich dann wegen Beobachtungsschwankungen kreuzen. Keine negative Differenz bei zentripetaler und zentrifugaler Prüfung (nach Klien) nachweisbar.

Zur Unterscheidung zwischen 2 und 3 ist es meist notwendig, die Untersuchungsbedingungen zu ändern. Das geschieht jedoch der exakteren Angaben wegen, wenn möglich, am besten mit weißen Objekten. Als Methoden kommen in Betracht:

a) Untersuchung des Gesichtsfeldes in verschiedener Entfernung vom Perimeter: bei Vorstellung des Schlechtsehens kann röhrenförmiges Gesichtsfeld auftreten, das in doppelter Entfernung gleichbleibt oder gar kleiner wird. Dieses Symptom kann bei 1 und 3 niemals vorkommen.

b) Untersuchung in gewöhnlicher Entfernung am Perimeter, aber bei abgelenkter Fixation. Nachdem die konzentrische Gesichtsfeldeinengung in gewöhnlicher Weise festgestellt ist, läßt man nicht den Fixierpunkt ansehen, sondern einen etwa bei 20° auf dem Perimeterbogen liegenden Punkt. Bestimmt man nun die Grenzen in dem betreffenden Meridian, so leuchtet ein, daß sich bei organischen Erkrankungen das konzentrische Gesichtsfeld mitverschieben muß, sodaß der neue Fixierpunkt wieder annähernd in der Mitte liegt. Demgegenüber folgt die Vorstellung

der Patienten der veränderten Sachlage nicht so schnell und das Gesichtsfeld bei Hysterischen, Simulanten usw. „klebt" am Zentrum (Klien), es verschiebt sich nicht in entsprechendem Maße mit dem Fixierpunkt mit (s. Fig. 30).

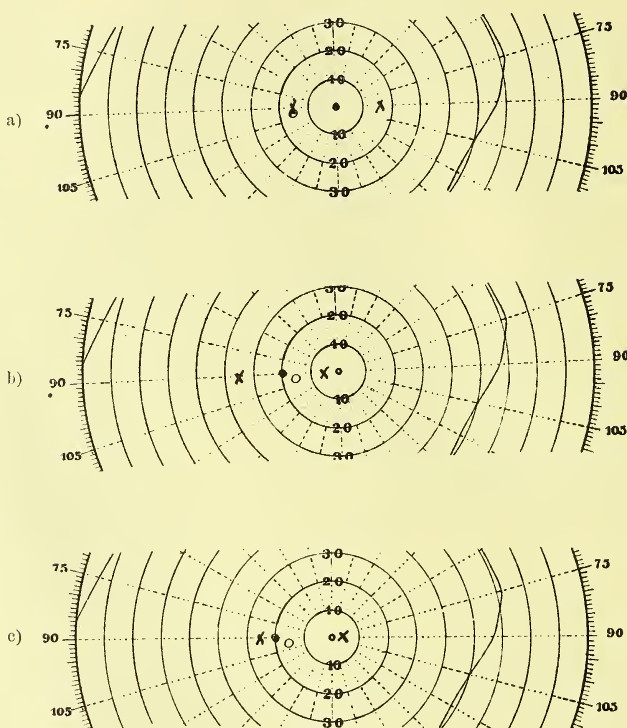


Fig. 30.
„Klebendes" Gesichtsfeld.
a) konzentrische Einengung im horizontalen Meridian geprüft. b) Exzentrische Fixation 20° temporalwärts): das durch organisches Leiden bedingte konzentrisch eingeengte Gesichtsfeld verschiebt sich mit der Fixation. c) Exzentrische Fixation (20° temporalwärts): das durch „Vorstellung" erzeugte konzentrische Gesichtsfeld verschiebt sich nicht entsprechend mit, sondern „klebt" am Zentrum.

c) Bei einseitigen Störungen die bekannten Simulationsproben, welche den Patienten glauben machen, er sähe mit dem „nicht erkrankten" Auge.

Zur weiteren Beurteilung des Falles, besonders, ob bei 2 Hysterie (bezw. Unfallneurose) oder Simulation vorliegt, muß die psychologische Analyse entscheiden.

Natürlich kann zu organischen Erkrankungen auch eine Aufmerksamkeitsstörung hinzutreten und so die Beurteilung erschweren. Das gilt besonders für diejenigen Fälle, bei denen ophthalmoskopische Veränderungen sichtbar sind, z. B. Stauungspapille. Bei konzentrischer Einengung der Farbengrenzen bei Sehnervenerkrankungen — bekanntlich auch ein sehr häufiges Symptom — muß stets auch an reine psychische Störung gedacht werden.

Das subjektive Farbensehen ist bei allen funktionellen Erkrankungen der Nerven ein so häufiges Ereignis, daß ihm eine besondere diagnostische Bedeutung für bestimmte Neurosen kaum zukommt. Es tritt in allen möglichen Farbentönen auf, von Rot angefangen über Orange, Gelb, Grün, Blaugrün, Blau bis Violett usw. Wichtiger ist jedoch, daß es nicht immer im ganzen Gesichtsfeld gleichmäßig aufzutreten braucht oder an das Sehen von bestimmten Gestalten gebunden ist; auch bei den Neurosen ist ein farbiges „Skotom" im Gesichtsfeld öfter beobachtet worden. Es können deswegen unter Umständen Verwechselungen mit Netzhauterkrankungen auftreten, zumal, wie wir wissen, bei letzteren die Farbensinnstörungen dem Spiegelbilde vorangehen können (s. unter Blaublindheit). Man denke deswegen in jedem Falle von Chromatopie auch an zentrale Neurosen, besonders wenn die subjektiven Störungen einen wechselnden und sehr flüchtigen Charakter tragen, etwa nur Minuten andauern. Eine scharfe Beobachtung des Patienten zeigt ja in der Regel, inwieweit der Verdacht gerechtfertigt ist.

Die hauptsächlichsten Formen der Neurosen sollen hier kurz speziell besprochen werden.

1. Hysterie.

Jede Farbenblindheit, welche auf rein hysterischer Basis beruht, ist eine psychische Störung. Der Sehakt selbst vollzieht sich dabei in vollkommen normaler Weise, freilich, ohne daß es den Patienten zum Bewußtsein kommt. Daher brauchen die Erscheinungen der Farbenblindheit auch nicht den Gesetzen der Optik und Physiologie zu gehorchen; ja sie tun es oft weniger als bei der Simulation, übrigens kann auch echte Simulation hinzutreten. Die Trennung wird nicht immer leicht durchzuführen sein.

Auf diesem psychischen Wege brauchen nicht die kortikalen Sehzentren in einen Zustand herabgesetzter oder veränderter Erregbarkeit versetzt zu werden, sondern wahrscheinlich kommt zu jeder Vorstellung, die auf dem gewöhnlichen Wege des Sehreizes erfolgt, die suggerierte Vorstellung von der veränderten Funktion des Sehorganes modifizierend hinzu (Klien).

Die rein psychische, von der Vorstellung abhängige Natur der Farbenblindheit zeigt sehr gut folgendes charakteristische Beispiel (nach Bernheim 112).

Eine auf dem linken Auge farbenblinde Hysterische sieht mit diesem Auge ein vorgehaltenes grünes Papier grau, mit dem rechten Auge grün. Bringt man

nun vor das rechte (gesunde) Auge ein Prisma, so sieht die Patientin natürlich doppelt, also zwei Papierstücke. Aber beide werden ohne Zögern nunmehr grün angegeben, nicht etwa das eine, dem linken Auge entsprechende, grau.

Bringt man das Prisma vor das farbenblinde Auge, so werden die beiden Bilder des grünen Papiers jetzt grau gesehen. Warum? Die Patientin besitzt die Vorstellung, daß das linke Auge das Papier grau sieht, weiter hat sie bemerkt, daß sie beim Blicken durch das Prisma doppelt sieht. Sie folgert unbewußt, daß nun auch beide Bilder, die sie durch das Prisma sieht, grau sein müssen, während in Wirklichkeit das eine Bild von dem gesunden rechten Auge herrührt. Umgekehrt wurde die Folgerung gezogen, wenn das Prisma vor dem gesunden Auge war.

Zuweilen vermag man die Beziehungen der Vorstellung der Patienten zu ihrer früheren Tätigkeit oder zu bestimmten Vorgängen der Außenwelt in Beziehung bringen, so im Anschluß an Schuluntersuchungen auf Farbenblindheit usw. Eine Stickerin, die viel mit farbigen Mustern zu tun hatte, litt an anfallsweiser Farbenblindheit (Hilbert 108).

Die Symptome der hysterischen Farbenblindheit.

Es liegt auf der Hand, daß es nach dem Gesagten nur einen zweifelhaften Wert haben kann, die hysterische Farbenblindheit in jedem Falle nach den Gesetzen der Lichtmischung sezieren zu wollen.

Meist wird eine einseitige oder auch doppelseitige totale Farbenblindheit angegeben, die mit völliger hysterischer Erblindung abwechseln kann. Die Literatur ist reich an derartigen Fällen. In dem Zustande wird dann alles als grau bezw. farblos bezeichnet. Die Erscheinung kann von ganz verschiedener Dauer sein, d. h. entweder nur anfallsweise auftreten oder längere Zeit anhalten, ganz wie die hysterische Amaurose. Die hysterische Farbenblindheit braucht natürlich keineswegs mit einer Herabsetzung des Sehvermögens einherzugehen, im Gegenteil einmal kann Amblyopie mit normaler Farbenempfindung bestehen, anderseits Farbenblindheit mit normalem Raumsinn.

Je nach dem Vorstellungsvermögen der Patienten kommen auch andere Formen der Farbenblindheit vor.

Bei einem Falle Hilberts (108) trat jedesmal im hysterischen Anfall eine Farbensinnstörung auf, bei welcher mit Holmgreens Wollproben Verwechselungen von Rosa, Grün und Grau gemacht und die Stillingschen Tafeln nicht entziffert wurden, merkwürdiger Weise ebenso wie bei der Rotgrünblindheit mit Ausnahme der Simulationstafeln.

Gesichtsfeldstörungen sind besonders häufig und spielen daher eine große diagnostische Rolle in Zweifelsfällen. Sie treten entweder nur für Farben oder auch für weiße Objekte auf, in ver-

schiedenen Graden und Modifikationen; denn auch die Gesichtsfeldstörungen brauchen sich keineswegs an die Gesetze der Physiologie zu halten, sie sind ebenso wie die Farbenblindheit meist nur ein Produkt der Vorstellungskraft der Patienten.

1. Am häufigsten besteht die konzentrische Einengung der Gesichtsfeldgrenzen. Sie hat daher auch eine ganz besonders große Bedeutung für die Diagnose der Hysterie erlangt (Landolt, Bernhard, Gonin u. a.). Sie kann für Weiß und Farben bestehen oder auch nur für Farben allein und die bekannten beträchtlichen Grade erreichen. Im ersteren Falle ähnelt sie dann dem Gesichtsfeld einer Retinitis pigmentosa. Dabei ist eigentümlich, aber nach dem mitgeteilten Wesen der Hysterie verständlich, daß trotz hochgradiger Gesichtsfeldstörung keine Orientierungsstörungen aufzutreten brauchen. Da die Einengung mit der Simulation die Vorstellung des Schlechtsehens als Quelle gemeinsam hat, kann das Gesichtsfeld ebenfalls röhrenförmig sein oder „nachschleppen" (s. S. 305), ob und in welchem Grade, hängt vom einzelnen Fall ab. Die Ermüdung scheint zuweilen ebenfalls (Schwarz 114) eine gewisse Rolle zu spielen. Auch Zunahme der Einengung unter Einwirkung psychischer Depressionen wurde beobachtet (Schiele 107, Richter 113 u. a.).

Die Grenzen für farbige Objekte halten zuweilen nicht die übliche Reihenfolge ein, auch durchkreuzen sie sich zum Teil. Ja die Grenzen für rote Objekte waren nicht selten weiter als die für blaue (Schwarz, Charcot, Strzeminski u. a.), also ähnlich wie bei der Retinitis pigmentosa.

Grobe Mißverhältnisse der Grenzen können für die Diagnose der Hysterie verwertet werden.

2. Von Interesse ist die Frage nach dem Vorkommen von homonymer Hemianopsie infolge Hysterie. In der Literatur sind eine Anzahl Fälle mitgeteilt, bei welchen eine Hemianopsie bei einer Hysterie beobachtet wurde (Strzeminski, Sturge [s. Wilbrand und Sänger], Weil, Galezowski, Hirsch, Gowers, Kellobra, 2 Fälle von Kafka [117], s. hier Literatur).

Handelt es sich dabei um eine Erscheinungsform der Hysterie oder um eine Komplikation mit anderen ev. organischen Leiden? Im allgemeinen muß daran festgehalten werden, daß das Vorhandensein einer homonymen Hemianopsie gegen Hysterie und mehr für ein organisches Leiden spricht, wobei natürlich stets die Möglichkeit besteht, daß beide Leiden sich kombinieren. Es ist aber wohl zu weit gegangen, nunmehr das Vorkommen einer homonymen Hemianopsie auf hysterischer Basis gänzlich in

Abrede stellen zu wollen, wie es Wilbrand und Sänger tun, zumal wir über die psychischen Vorgänge der Hysterischen noch so wenig wissen.

Zuweilen scheint nämlich nach den literarischen Mitteilungen auch die Hemianopsie allen physiologischen Gesetzen Hohn zu sprechen (Kafka 117), so daß man sie schlecht auf organische Grundlage zurückführen kann. Sie kann beständig in der Ausdehnung schwanken, paart sich mit konzentrischer Einengung, überschreitet vorübergehend die Mittellinie entweder auf beiden oder gar nur auf einem Auge. Außerdem kann sie mit hysterischer Erblindung abwechseln und auf Suggestion oder mit Aufhören psychischer Depressionen plötzlich verschwinden (Weil, Kafka u. a.).

Wenn ein derartiges inkonstantes Verhalten vorliegt, so muß man doch an eine funktionelle Störung denken. Vielleicht handelt es sich um ähnliche Vorgänge wie beim Flimmerskotom, wo ebenfalls eine funktionelle Hemianopsie vorkommt. Ob bei beiden Störungen ähnliche vasomotorische Vorgänge eine Rolle spielen, mag dahingestellt bleiben. Zuweilen mag wohl auch einer Hysterischen das hemianopische Flimmerskotom bekannt sein bezw. sich in den Vorstellungskreis eingenistet haben.

Auch halbseitige Erythropie ist bei Hysterie beobachtet worden (Borel 111).

3. Die Frage, ob zentrale Skotome als direkte Folgeerscheinungen einer Hysterie vorkommen, ist zur Zeit noch nicht mit Sicherheit zu entscheiden. Die wenigen mitgeteilten Fälle (Leber, Harlan, Strzeminski, Wilbrand und Sänger u. a.) sind, wie Wilbrand und Sänger mit Recht betonen, mindestens z. T. nicht eindeutig. Besonders nahe liegt die Möglichkeit einer Verwechselung mit multipler Sklerose, bei der vorübergehende Skotome ohne sichtbare ophthalmoskopische Veränderungen bekanntlich nichts seltenes sind. Anderseits darf nicht von vornherein die Möglichkeit abgelehnt werden, daß ein hysterisches Individuum von der Vorstellung befallen ist, an umschriebener Stelle nichts sehen zu können. Bei Hysterischen ist eben beinahe nichts unmöglich, wenn es sich auf irgend eine Weise in ihrer Vorstellung festgesetzt hat.

Ein vorübergehendes relatives Ringskotom für Weiß und alle Farben (Abnahme der Sättigung im Bereich des Skotoms) beschreibt Wölfflin (119).

Subjektives Farbensehen kommt natürlich ebenfalls in verschiedenen Qualitäten und Graden vor (Hilbert u. a.) (vergl. a. S. 199 ff.).

2. Hypnose und Suggestion.

Die durch Suggestion erzeugte Farbenblindheit hat mit der hysterischen — der autosuggestiven — große Ähnlichkeit. Zunächst kann einem Medium das Sehen bestimmter Farben suggeriert werden, auch nach dem Erwachen aus der Hypnose.

Die suggerierten Farben verhalten sich aber nicht wie die wirklichen, d. h. sie gehorchen nicht den Gesetzen der Optik, sondern sind von dem freien Spiel der Fantasie (Bernheim 112) abhängig.

Beispiele: Bernheim nahm nach Einschläferung einer Patientin eine weiße Scheibe und suggerierte ihr, daß sie das Blatt beim Erwachen blau und gelb sehen würde. Das Phänomen trat auch prompt ein. Wurde nun die Scheibe in Drehung versetzt, so wurde sie aber wieder weiß gesehen. b) Nunmehr wurde eine wirklich blaue und gelbe Scheibe genommen. Bei Drehung wurde sie ebenfalls weiß gesehen. c) Eine im ganzen blaue Scheibe wurde der Patientin vorgehalten und ihr suggeriert, daß sie nach dem Erwachen Rot und Gelb sehen würde. Wieder trat das Phänomen ein. Bei Drehung der Scheibe sah die Patientin wieder „Weiß", während sie logischer Weise nach den Gesetzen der Farbenmischung ein imaginäres Orange sehen mußte (der Normale sah natürlich unverändert Blau).

Hierher gehört vielleicht auch die Beobachtung, daß man angeboren Farbenblinden mit Hülfe von Suggestion scheinbar ihren Farbensinn mehr oder weniger vollständig wiedergeben kann (Cohn 105).

Interessanter ist die Tatsache, daß auch ohne spezielle Suggestion bestimmter Farben auf dem Wege der Hypnose die Farbenempfindung in Verlust geraten, d. h. eine vorübergehende Farbenblindheit entstehen kann (Heidenhain 106 und Cohn 104). Auf diese Weise konnte eine totale Farbenblindheit erzielt werden, bei welcher sich das Farbensehen ebenso verhielt wie bei der häufigsten Form der erworbenen totalen Farbenblindheit. Das ganze Spektrum wurde als graues Band gesehen, wobei die hellste Stelle wie beim Normalen im Gelb lag.

Während der Hypnose blieb das Gesichtsfeld und der Lichtsinn normal, ebenso wie es auch bei der erworbenen totalen Farbenblindheit zuweilen beobachtet worden ist (vergl. S. 301).

Auch die Nachbilder farbiger Objekte wurden grau gesehen, erschienen aber in dem Moment wieder in ihrer richtigen Farbe, wenn das Medium aus der Hypnose erweckt wurde und dadurch wieder seinen normalen Farbensinn zurückerhielt. Fixierte das Medium z. B. ein gelbes Papier, das also grau gesehen wurde, so wurde nach Fortnahme des Papiers auch nur ein graues Nachbild gesehen. Dieses verwandelte sich aber sofort in das normale, blaue, wenn das Medium während der Fixation aus der Hypnose geweckt wurde.

Die Farbenblindheit entwickelte sich angeblich bei dem Medium (stud. med.) so, daß jede Farbe zuerst richtig erschien, dann in ihrer Gegenfarbe, dann schließlich grau. Beim Wiederkehren des normalen Farbensinnes fand die umgekehrte Reihenfolge statt. Es traten also wellenartige Schwankungen

auf, die mit dem Ablauf der positiven und negativen Phasen der Nachbilder verglichen wurden.

Unter gewissen Bedingungen trat bei demselben Medium nur eine Rotgrünblindheit auf, die also auch hier gleichsam die Vorstufe zur totalen Farbenblindheit zu bilden schien, ähnlich wie bei der progressiven Farbenblindheit infolge organischer Erkrankungen (s. a. b. Hysterie S. 308).

3. Traumatische Neurosen.

Bei den funktionellen Nervenleiden, die sich im Anschluß an Traumen anzuschließen pflegen, tritt als häufigster Befund von Seiten der Augen die konzentrische Einengung der Gesichtsfeldgrenzen für Weiß und Farben auf (Chalupecky u. viele a.). Dagegen ist bei systematischen Untersuchungen von Unfallneurosen die Gesichtsfeldstörung anscheinend nicht allzu häufig (Klien 116a). Natürlich muß man sich bei derartigen Untersuchungen hüten, die Funktionsstörung hineinzuexaminieren bezw. hineinzuprüfen.

Die Einengung der Grenzen bietet wieder ein sehr verschiedenes Bild dar. Die Störung kann nur die Farbengrenzen befallen in regelmäßiger oder „falscher" Reihenfolge, oder die Grenzen für Weiß sind mitbetroffen. Der Grad kann ebenfalls ein ganz verschiedener sein. Unregelmäßigkeiten, Ermüdungseinengungen, Differenzen zwischen zentrifugaler und -petaler Gesichtsfeldprüfung können vorhanden sein und fehlen.

Bei der Diagnose einer traumatischen Neurose auf Grund konzentrischer Einengung sei man daher vorsichtig, noch vorsichtiger aber beim Ablehnen der Diagnose und der Annahme einer Simulation. Aus der Art der Angaben bei der Gesichtsfeld- und Farbensinnprüfung, auch wenn man die S. 305 erwähnten Hilfsmittel anwendet, läßt sich die Frage, ob Simulation oder Autosuggestion vorliegt, überhaupt nicht entscheiden.

Das ist leicht verständlich, wenn man sich das Zustandekommen der Gesichtsfeldstörung vergegenwärtigt. In einem Teil der Fälle findet sich begreiflicher Weise eine Aufmerksamkeitseinengung, vor allem bei schweren Hirnverletzungen, nach Commotio cerebri, traumatischer Epilepsie usw. Diesen wird man meist von dem anderen Typus diagnostisch unterscheiden können, der durch die Vorstellung des Schlechtsehens bedingt ist (vergl. S. 303). Ob aber hierfür Autosuggestion oder Simulation in Betracht kommt, kann nur eine psychologische Beurteilung des Gesamtverhaltens des Patienten entscheiden. Denn in beiden Fällen ist

(vergl. Klien) das primäre die Begehrungsvorstellung, die zur Vorstellung des Schlechtsehens führt. Es wird von der Moral und von der nervösen Konstitution des Betreffenden im allgemeinen abhängen, ob überhaupt Symptome der Funktionsstörung auftreten, und ob die Vorstellung zur Simulation oder zur Autosuggestion führt. Im letzteren Falle hängt es wieder ganz von der Intelligenz des Patienten[1]) ab, ob der Befund der Untersuchung mit den Grundsätzen, wie sie aus organischen Erkrankungen des Sehorganes gewonnen sind, übereinstimmt oder stark kontrastiert.

Andere Störungen des Farbensinnes, wie sie bei der Hysterie (s. dort) beobachtet werden, können sich ebenfalls an Traumen anschließen, so völlige Farbenblindheit (z. B. Thomson 109). Jedoch kommt letztere wohl bei Unfallkranken ziemlich selten zu Beobachtung.

Ist man bei Unfallkranken im Zweifel, ob eine vorhandene Störung des makularen Farbensehens organischer Natur ist oder auf Neurose bezw. Simulation beruht, so muß eine planmäßige Untersuchung des Auges und Beurteilung nach ihrem gesamten Ergebnisse erfolgen. Der Augenspiegelbefund wird wohl fast immer negativ sein.

Denkt man z. B. an die Möglichkeit einer beginnenden sympathischen Neuritis, so erfolgt die Untersuchung in der S. 285 genannten Weise. Im Übrigen kommen bei negativem Augenspiegelbefunde und erheblicher Herabsetzung der Funktionen von organischen Erkrankungen fast ausschließlich entzündliche oder toxische Prozesse im Sehnerven vor, z. B. Alkoholintoxikation, Nasennebenhöhlenerkrankungen, multiple Sklerose u. a. m. Entweder es besteht dann eine konzentrische Gesichtsfeldeinengung, dann untersucht man wie S. 305 angegeben, oder die Gesichtsfeldgrenzen sind normal, dann besteht bei einer Herabsetzung der fovealen Funktionen eben ein zentrales Skotom. Hierbei muß der Befund am Perimeter mit farbigen Objekten mit der Prüfung am Farbengleichungsapparat annähernd übereinstimmen, denn fast stets handelt es sich ja um irgend ein Stadium der progressiven Rotgrünblindheit. Unmöglich ist z. B. bei organischen Erkrankungen, daß am Farbengleichungsapparat zwischen rotem und blauem Feld Gleichungen angenommen werden, oder auch zwischen blauem und weißem, dagegen nicht zwischen rotem, gelbem, grünem und weißem (s. die Symptome der Rotgrünblindheit am Farbengleichungsapparat S. 170).

---

[1]) Hierzu gehört auch die im Laufe von mehrfachen Untersuchungen gewonnene Erfahrung der Patienten.

4. Neurasthenie.

Die bei der Neurasthenie vorkommenden Störungen der Farbenempfindung beschränken sich im wesentlichen auf 2 Symptome, nämlich die konzentrische Einengung der Gesichtsfeldgrenzen für Farben und das subjektive Farbensehen (Chromatopie).

Die konzentrische Einengung der Gesichtsfeldgrenzen ist nicht selten nachweisbar. Sie bewegt sich im allgemeinen in leichten oder mäßigen Grenzen, entweder nur für Farben oder auch für weiße Objekte. In der Regel sind sehr deutlich die Erscheinungen der Aufmerksamkeitsstörung (S. 302) nachweisbar, insbesondere leichte Ermüdbarkeit[1]).

Subjektives Farbensehen wird gerade bei Neurasthenikern nicht selten beobachtet und ist mehrfach beschrieben[2]) als Rotsehen, Grünsehen, auch Blausehen usw. Möglicherweise kann das Auftreten einer Blendungserythropie (s. d., S. 204) begünstigt werden.

Zuweilen können den Patienten bei ihren krankhaften Selbstbeobachtungen auch an und für sich harmlose Nachbilderscheinungen farbiger Objekte besonders auffallen, vor allem im indirekten d. h. peripheren Sehen, weil hier die Gegenstände selbst oft nicht zum Bewußtsein kommen. Derartige Nachbilder können

---

[1]) Die Neigung zur Ermüdung pflegt man in verschiedener Weise festzustellen.

1. Man prüft die Gesichtsfeldgrenzen in gleichmäßigen Zeitintervallen mehrmals um das ganze Gesichtsfeld herum in verschiedenen Meridianen. Bei ausgesprochener Ermüdung erhält man eine spiralförmige Gesichtsfeldeinengung.

2. Untersuchung auf den Försterschen Verschiebungstypus. Bewegt man beim Normalen das Perimeterobjekt umgekehrt in zentrifugaler Richtung aus dem Gesichtsfeld heraus, so erhält man weitere Gesichtsfeldgrenzen, wie bei der gewöhnlichen zentripetalen Führung. Bei Neigung zur Ermüdung wurden dagegen die Gesichtsfeldgrenzen bei zentrifugaler Objektführung enger. Führt man also am Perimeter von nasalwärts das Objekt nach dem Zentrum zu und dann temporal wieder in zentrifugaler Richtung hinaus, so erhält man bei Ermüdung ein temporal eingeengtes Gesichtsfeld. Bei gleichem Verfahren in umgekehrter Richtung entsteht eine nasale Einengung. So bekommt man zwei gleichsam gegeneinander verschobene Gesichtsfelder.

3. Man kann auch nach Wilbrand nur im horizontalen Meridian prüfen und das Objekt immer hin- und herführen, d. h. temporal in das Gesichtsfeld hinein, nasalwärts hinaus, dann umgekehrt. Man setzt die Untersuchung so lange fort, bis noch eine Einengung der Verschwindungsgrenzen gefunden, und markiert letztere jedes Mal.

[2]) Eine Anzahl einschlägiger Fälle sind bei Hilbert (über Störungen des Farbensinnes im Gefolge intern. Erkrank. Klin. Monatsbl. f. Aug. 46 (I) S. 256, 1908) erwähnt.

umso mehr Beunruhigung hervorrufen, als sie auf ferner stehende Gegenstände projiziert an Flächengröße zunehmen.

Man blicke z. B. längere Zeit auf ein Schreibblatt, das auf einem blauen Aktendeckel ruht, der an den Rändern das Blatt überragt. Man erhält dann ein peripheres gelbes Nachbild von dem blauen Rande, das auf die gegenüberliegende Wand projiziert als breites Band durch die untere Gesichtsfeldhälfte zieht.

5. Epilepsie.

Bei der Epilepsie sehen wir wiederum konzentrische Einengung der Gesichtsfeldgrenzen und subjektives Farbensehen auftreten, erstere als Teilerscheinung einer bis zur Erblindung fortschreitenden Funktionsherabsetzung oder nur als Aufmerksamkeitsstörung.

Während der epileptischen Aura finden sich neben komplizierten Halluzinationen auchFarbensehen in allen möglichen Farben. Die Dauer des Farbensehens ist verschieden, Hilbert sah Gelbsehen 24 Stunden lang dem Anfall vorausgehen.

In ähnlicher Weise kann Farbensehen epileptiform auch ohne Krampfanfall auftreten. Bei derartigen rudimentären Anfällen sind bekanntlich Sehstörungen bis zur Erblindung nicht selten; sie gehen meist mit konzentrischer Gesichtsfeldeinengung einher (Knies), doch tritt natürlich hierbei die Farbensinnstörung als wenig wichtige Teilerscheinung in den Hintergrund.

Konzentrische Gesichtsfeldeinengung nur für Farben, auch mit vorübergehender Farbenblindheit, wird häufiger bei epileptischen Dämmerungszuständen und bei epileptischer Demenz nach den Anfällen beobachtet. Klien zählt sie — wohl mit Recht — größtenteils den Aufmerksamkeitsstörungen zu, da die Symptome den S. 302 erwähnten zu entsprechen scheinen.

6. Hemikranie.

Während des hemikranischen Anfalls kommen nicht gar selten gewissermaßen als Varietät des gewöhnlichen Flimmerskotoms Übergänge zum Farbensehen vor. In derartigen Fällen pflegt das Gesichtsfeld dann von leuchtenden ein oder mehrfarbigen Ringen, Kugeln usw. erfüllt zu sein. Sie können sich auf die eine Hälfte des Gesichtsfeldes beschränken, können jedoch auch das ganze Gesichtsfeld oder dessen Zentrum einnehmen (z. B. Hilbert 110a u. 112a).

E. Intoxikationen.

Die infolge Vergiftungen vorkommenden Störungen des Farbensehens sind keinesfalls neue Erscheinungen, sondern sie gehören durchgehend den bereits besprochenen Formen an. Da sie jedoch zuweilen stark in den Vordergrund aller Intoxikationssymptome treten, ist eine kurze Gesamtübersicht, soweit die bisherigen Beobachtungen es gestatten, wohl angebracht.

Alle Störungen der Farbenempfindung kann man durchgängig in 2 Formen einteilen, nämlich das bunte Bild des subjektiven Farbensehens, dem andererseits die typische Farbenblindheit gegenübertritt, wie sie überall als Teilerscheinung einer allgemeinen Funktionsstörung des Sehorganes aufzutreten pflegt.

a) Das subjektive Farbensehen tritt mit Vorliebe gerade unter der Reizwirkung toxischer Stoffe auf. Was schon früher allgemein über das Zustandekommen der Chromatopie gesagt wurde (S. 199), gilt auch für die toxischen Formen; d. h. die Ursache ist anscheinend keine einheitliche, sondern kann auf verschiedenste Weise erfolgen, je nach dem Ort und der Art, in welcher die Noxe die Sehbahn vorwiegend angreifen. Wir wollen hier ganz davon absehen, daß zuweilen — wie bei den Mydriaticis — nur indirekt ein Farbigsehen bedingt wird, insofern als durch die weite Pupille ein Übermaß von Lichtfülle die perzipierende Schicht trifft und zu der bekannten Blendungserythropie führt.

Aber auch für die anderen Arten ist eine erschöpfende Aufzählung aller beobachteten Fälle kaum möglich und eine undankbare Aufgabe; dazu fällt der individuelle Faktor der Psyche für das Farbensehen zu schwer ins Gewicht. Bei den meisten Vergiftungen ist von dem einen oder anderen über Sehen farbiger Funken, Flammen usw. berichtet worden, die allgemein nicht viel charakteristisches an sich haben und deswegen auch übergangen werden sollen. Es bleiben von den Formen, die entweder für bestimmte toxische Stoffe charakteristisch sind oder bei einzelnen Patienten besonders in den Vordergrund treten, immer noch genug übrig. Besonders charakteristisch ist das Farbensehen bei Intoxikationen durch Santonin, Meskal, Haschisch[1]).

b) Die erworbene Farbenblindheit, welche die Teilerscheinung einer allgemeinen Funktionsstörung bildet, betrifft ausschließlich die verschiedenen Stadien der progressiven Rotgrünblindheit. Natürlich kann unter Umständen dort, wo Netzhautveränderungen

[1]) Eine recht vollständige Übersicht und Literaturzusammenstellung über die verschiedenen beobachteten Fälle von Chromatopie bei Intoxikationen gibt Hilbert (121a).

(Blutungen, Exsudate) durch toxische Stoffe hervorgerufen worden sind, auch einmal eine erworbene Gelbblaublindheit auftreten. Hierfür wird jedoch der Augenspiegel dann meist das ursächliche Moment aufdecken.

Im Gesichtsfeld pflegt die Farbensinn-, oder besser allgemein gesagt, die Funktionsstörung besonders in zwei häufiger wiederkehrenden Formen aufzutreten, die zwar zuweilen Übergänge zu bilden scheinen, jedoch immerhin recht charakteristisch sind. Das ist

1. das Auftreten der Farbenblindheit (progressive Rotgrünblindheit) vorwiegend als zentrales Skotom in gleicher Art, Ausdehnung und Verlauf, wie sie bei dem allgemeinen Bilde der Neuritis (S. 279) skizziert worden ist.

Gerade bei der Diagnose der Intoxikationsneuritiden bietet die ophthalmoskopische Untersuchung ja häufig gar keinen Anhalt und steht jedenfalls meist in keinem Verhältnis zur Schwere der Funktionsprüfung. Man ist daher vorwiegend auf die Funktions- und vor allem Farbensinnprüfung angewiesen.

Es sei daran erinnert, daß Intoxikationen doppelseitig aufzutreten pflegen, und daß sich Atrophien vorwiegend als temporale Abblassung der Papille bemerkbar machen.

2. Im Gegensatz dazu stehen andere Formen der progressiven Farbensinn- (bezw. Funktionsstörung überhaupt), bei welchen das empfindliche papillomakuläre Bündel des Sehnerven gerade verhältnismäßig lange seine Leitungsfähigkeit behält und eine oft sehr hochgradige konzentrische Einengung der Farbengrenzen, ebenso wie diejenigen für weiße Objekte in höchst charakteristischer Weise auftritt. (Das ophthalmoskopische Bild zeigt dabei in der Regel die bekannte Verengerung der Netzhautgefäße mit frühzeitiger Abblassung des Sehnerveneintrittes.)

Die progressive Rotgrünblindheit tritt vorwiegend als zentrales Skotom auf bei Vergiftung mit:	Die Funktionsstörung tritt vorwiegend als konzentrische Einengung der Gesichtsfeldgrenzen auf bei Vergiftung mit:
Aethylalkohol Methylalkohol Nikotin Kaffee, Thee Opium Morphium Jodoform Arsen Schwefelkohlenstoff Blei (bei letzterer häufig auch andere Gesichtsfeldstörung)	Chinin Filix mas Cortex Granati Atoxyl, Arsacetin und verwandten Präparate. In nicht so typischer Weise bei Anilin Nitrobenzol und verwandten Stoffen.

3. Seltener ist das Vorkommen von Hemianopsien bezw. Hemiachromatopsien, die bei Vergiftungen mit Blei und Kohlenoxyd beobachtet wurden. Sie weisen auf eine zentralere Schädigung der Sehbahn hin.

4. Schließlich müssen zum Schluß die — nicht seltenen — rein funktionellen konzentrischen Änderungen der peripheren Farbengrenzen erwähnt werden.

Einengungen der Grenzen auf funktioneller Basis, denen bei den Neurosen etwa zu vergleichen, sind nicht selten (z. B. bei Alkohol-, Schwefelkohlenstoffvergiftung). Erweiterungen der Gesichtsfeldgrenzen infolge gesteigerter Empfindlichkeit für Licht- und Farbenreize treten nach Strychnin- und Brucingebrauch auf.

Die hauptsächlichen Farbensinnstörungen bei den einzelnen Giften sind im folgenden aufgeführt.

Aethylalkohol.

Die Alkoholintoxikation ist die häufigste und wichtigste Intoxikation des Sehnerven. Das als durchaus typisch hervortretende Symptom ist die progressive Rotgrünblindheit in Gestalt des zentralen Skotoms, wie es bei der Neuritis ganz allgemein in gleicher Weise vorkommt.

König (123) hat in einem Falle von Alkoholintoxikation das dichromatische System der Rotgrünblindheit annähernd bestimmt.

Die Größe der Farbenskotome (gleichzeitig bestehen auch relative Skotome für Weiß) ist zwar in der Mehrzahl der Fälle annähernd die gleiche (etwa 10—20° vom Fixierpunkt reichend[1]), doch ist sie durchaus variabel und nur von dem Grade bezw. dem Stadium der Störung abhängig.

Im Beginn sind die Skotome häufig ganz klein und ähneln in Form und Lage sehr denen, wie sie bei der Neuritis z. B. infolge Nebenhöhlenerkrankung beobachtet wurden; sie liegen nämlich zuweilen exzentrisch zwischen Fixierpunkt und blindem Fleck oder treten auch — seltener — als Vergrößerung des blinden Fleckes auf (vergl. Lewin-Guillery I, S. 284 ff.). Auch bei allmählicher Vergrößerung nehmen sie gern den Raum zwischen Fixierpunkt und blindem Fleck ein, sodaß etwa das Skotom eine liegende Elipse bildet, in deren einem Brennpunkte der Fixierpunkt, im anderen der blinde Fleck liegt. Bei größerer Ausdehnung

[1]) Die durchschnittliche Ausdehnung, nach 33 Fällen berechnet, war folgende (Lewin-Guillery I, S. 270): nach innen überschritt die Grenze den Fixierpunkt nur um 4°, höchstens 10°, die äußere Grenze lag durchschnittlich bei 18°. Der vertikale Durchmesser der Skotome schwankte zwischen 8° u. 24°.

kann das Skotom an irgend einer Stelle nach der Peripherie „durchbrechen", sodaß sich für das eine oder andere farbige Objekt ein halbmondförmiges Gesichtsfeld ergibt, ja es kann das ganze normale Gesichtsfeld für grüne, auch für rote Objekte in das Bereich des Skotoms fallen.

Jedenfalls ist es darnach nicht gerechtfertigt, eine isolierte Erkrankung des papillomakulären Bündels anzunehmen im Sinne einer Systemerkrankung; denn die Ausbreitung des Prozesses hält sich eben nicht an das Bündel allein, sondern kann einen ganz verschiedenen Umfang annehmen (Uhthoff 121).

Im Bereiche des Skotoms findet wieder eine stufenförmige Abnahme der Funktionsstörung statt, die nur selten nicht nachgewiesen werden kann (Uhthoff 121). Dann bildet der Fixierpunkt oder auch eine parazentral gelegene Stelle die Gegend der stärksten Funktionsstörung (Kernstelle). Sie kann von einem absoluten oder auch total farbenblinden Skotom gebildet werden, das dann inmitten eines größeren für rote und grüne Objekte zu liegen kommt. Über das Vorkommen und den Nachweis von „rotgrünblinden" Skotomen bei angeborener Protanopie und Deuteranopie hat Uhthoff berichtet.

Die Skotome sind stets doppelseitig, wenngleich auch in Ausdehnung und Intensität mäßige Differenzen zwischen beiden Augen bestehen können. Im Anfang kann allerdings der Nachweis des Skotoms nur auf einem Auge gelingen.

Prüft man am Perimeter mit farbigen Quadraten (s. Methodik, Absch. III), so kann je nach der Größe der Farbenobjekte und dem Grade der Störung das Farbengesichtsfeld ein ganz verschiedenes Aussehen haben. Man kann etwa folgende Typen beobachten:

a) Die häufigste Form: zentrales Skotom für Grün und Rot, Peripherie für Grün und Rot allseitig erhalten.

aa) Dabei kann zentral ein kleines Skotom für Blau, selbst ein absolutes für Weiß bestehen.

b) Grün ist vollkommen ausgefallen, Rot ist noch als periphere ringförmige oder halbmondförmige Zone nachweisbar. Die Gestalt der halbmondförmigen Zone kann sogar eine Hemianopsie vortäuschen.

bb) Siehe aa.

c) Grün und Rot sind vollkommen im Gesichtsfeld ausgefallen.

cc) Für Blau besteht bei erhaltener Peripherie ein zentrales Skotom.

d) Auch Blau wird nur noch exzentrisch oder in halbmondförmiger Zone erkannt.

Dabei kann zentral ein absolutes Skotom bestehen.

Neben der Perimeteruntersuchung ist möglichst quantitative Bestimmung der fovealen Rotgrünblindheit mit pseudoisochromatischen Proben oder Rayleighgleichung vorzunehmen.

Eine gleichzeitige konzentrische Gesichtsfeldeinengung für Farben und für Weiß (periphere Rotgrünblindheit) kann bei fortgeschrittener Störung auftreten, wenn das zentrale Skotom so groß ist, daß seine Randwirkungen schon bis

in die Peripherie reichen. Sonst kommt jedoch eine konzentrische Einengung nur ausnahmsweise vor (Salva 126, Simi 125, Lewin-Guillery u. a.). Auch dann handelt es sich wahrscheinlich meist nicht um organische Veränderungen, sondern um rein funktionelle Störungen, besonders um eine Aufmerksamkeitseinengung (Uhthoff 121). Zuweilen muß auch an Komplikationen gedacht werden, wie Tabes, Dementia paralytica u.a.

Derartige Gesichtsfeldeinengung ohne Skotome bezw. ohne Intoxikationsneuritis wurde als häufiges Symptom angegeben bei Delirium tremens, auch bei Alkoholikern, die an Krämpfen erkrankt waren (Moeli 122).

Da bei Alkoholismus auch Hemeralopie nicht selten beobachtet wird, so können sich bei Bestimmung der Grenzen für farbige Objekte zuweilen deren Folgen sehr wohl bemerkbar machen, nämlich eine Einengung der Grenzen für Blau, im Gegensatz zu Rot (vergl. S. 245), eine Erscheinung, welche mit der Intoxikationsneuritis natürlich nichts zu tun hat.

Chromatopie kommt zuweilen, wenn auch seltener vor. Am markantesten ist ein von Pergens beobachteter Fall, bei dem 4 Tage lang in der typischen Weise Blausehen bestand, „als ob allen Farben blau beigemischt schien“. Auch über anderes Farbensehen wurde geklagt, so in einem Falle das Sehen orangegefärbter Wolken, wo jedoch gleichzeitig Hysterie vorlag. Schließlich ist vorübergehendes Gelbsehen beobachtet worden (Simi), was übrigens, wenn gleichzeitig Ikterus (Lebercirrhose!) vorhanden ist, nicht sonderlich auffallend wäre.

Die übrigen und gewöhnlichen subjektiven Klagen über gestörtes Farbensehen unterscheiden sich in nichts von denen, wie sie stets bei der Rotgrünblindheit vorhanden sind (S. 152), d. h. Verwechselung bestimmter Farbentöne (Gold- und Silbermünzen!), störende Andauer der Nachbilder, Nyktalopie usw.

Die Beziehungen zwischen Sehschärfe und Farbensinnstörung sind nach meinen bisherigen Erfahrungen ähnlich konstante wie bei der tabischen Atrophie, solange die Erkrankung im Fortschreiten ist. Es entspricht also einer bestimmten Herabsetzung des Sehvermögens auch ein bestimmter Grad der Rotgrünblindheit, wenigstens wenn man mit der Rayleighgleichung untersucht und von geringeren Schwankungen absieht. (s auch S. 178).

Stellt sich eine Besserung ein, so findet man nicht selten, daß sich das Sehvermögen z. B. auf $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ hebt, aber noch ein Stadium der Rotgrünblindheit zurückbleibt, wie man es bei $\frac{1}{10}$—$\frac{1}{6}$ Sehschärfe sah (z. B. am Anomaloskop Gleichung zwischen Natriumgelb und Lithiumrot). Allmählich hebt sich dann auch die Farbenempfindung wieder, bis beide, Farbensinn und Sehschärfe, annähernd normal sind.

In solchen Fällen bietet demnach die Prüfung mit der Rayleighgleichung einen guten Anhalt, ob die Besserung auch wirklich anhält, auch wenn sich das Sehvermögen während der Beobachtung nicht verändert; dann nähert sich die Einstellung des Rotgrüngemisches immer mehr dem Verhalten des Normalen, sie wird „schärfer", und zum Erkennen der Farbendifferenzen zwischen den beiden Vergleichsfeldern ist immer geringere Zeit erforderlich (vergl. auch S. 159).

Daß die Funktionsstörung schon zu einer Zeit sehr erheblich sein kann, wo das ophthalmoskopische Bild keine Veränderungen darbietet, ist bekannt.

Die Prognose der Alkoholintoxikation ist bekanntlich eine günstige bei geeigneter Behandlung. Gänzliche Erblindungen sind sehr selten, Heilungen bezw. Besserungen dagegen häufig; nach Branchli's Statistik (124) blieben nur etwa 15% ungebessert. Eine Besserung der Funktionen kann in jedem Stadium der Störung oft überraschend schnell eintreten. Selbst dann, wenn die Papille schon deutlich blaß erscheint, habe ich Sehschärfe und Farbensinn wieder fast normal werden sehen. Bei der Wiederherstellung kann man dann das erwähnte Mißverhältnis zwischen Sehschärfe und dem Grade der Rotgrünblindheit beobachten. Der Rückgang im Gesichtsfeld erfolgt meist von der Peripherie des Skotoms nach der Kernstelle zu, sodaß die letztere und damit die Gegend um den Fixierpunkt oft am längsten beteiligt ist. Erfreulicherweise kommt auch umgekehrt zeitiges Freiwerden der fovealen Funktionen vor. Dauernde kleine parazentrale Restskotome lassen sich nicht selten nachweisen.

Auch ein Zerfall des Skotoms in zwei, z. B. am Fixierpunkt und am blinden Fleck kommt nicht selten vor (Lewin-Guillery 120), ebenso wie beim Entstehen das Skotom aus zwei getrennten zusammenfließen kann.

Nach einigen Autoren soll bei gleichzeitiger konzentrischer Einengung für Farben und Weiß die Prognose schlechter sein. Das trifft kaum immer zu, zumal, wie oben gesagt, die Einengung rein funktioneller Natur sein kann.

Eine Gefahr für die Sicherheit im Eisenbahn- und Marinedienst kann die allmählich sich entwickelnde Farbenblindheit unter Umständen wohl bilden. Der Grad der progressiven Rotgrünblindheit, bei welchem die Patienten bei der Erkennung der Farben in ähnlicher Weise versagen würden, wie es bei den leichteren Graden angeborener Farbenschwäche der Fall ist, entspricht etwa einer gleichzeitigen Herabsetzung der Sehschärfe auf $^1/_2$—$^1/_3$. Mit weiter zunehmender Funktionsstörung setzt die schlechte Sehschärfe ja so wie so der Brauchbarkeit der Beamten ein Ziel. Ausgesprochene Rotgrünblindheit in einer Stärke, wie sie etwa der angeborenen Rotgrünblindheit entsprechen würde,

kommt bei gutem Sehvermögen wohl nur im Rekonvaleszenzstadium vor, also zu einer Zeit, wo bereits ärztliche Kontrolle vorhanden ist.

Galloway (126a) berichtet beispielsweise über den Kapitän eines Kriegsschiffes, bei welchem S = $^1/_{60}$ und Rotgrünblindheit infolge Intoxikationsamblyopie bestand (infolge Alkohol- oder Tabakgenusses).

Methylalkohol (Holzgeist).

Die Funktionsstörungen erfolgen gewöhnlich durch Trinken von methylalkohol-haltigen Flüssigkeiten; hierzu kann schon ein geringes Quantum (etwa 2 Eßlöffel) genügen. Auch durch Einatmen der Dämpfe des Holzgeistes kann eine Intoxikation erfolgen.

Da die typischen Symptome sehr viel schwerer und stürmischer als bei der Aethylalkoholvergiftung zu verlaufen pflegen, treten auch die Farbensinnstörungen als Ausdruck einer relativen Störung für die Diagnose mehr in den Hintergrund.

Gewöhnlich tritt 1—5 Tage nach der Intoxikation doppelseitige Erblindung auf oder doch eine sehr hochgradige Herabsetzung des Sehvermögens. Bessern sich die Funktionen wieder, was nicht immer der Fall, aber doch in vollkommenster Weise möglich ist, so pflegt es auf dem Wege des zentralen Skotoms zu geschehen, d. h. zuerst stellt sich die Peripherie des Gesichtsfeldes wieder her. Gleichzeitig durchläuft nun die Farbenempfindung wieder den bekannten Weg: es tritt das Stadium der erworbenen Rotgrün blindheit auf und nähert sich allmählich dem normalen Farbensinn. (Die bisherigen spärlichen Untersuchungen bestanden nur im Benennenlassen farbiger Flächen und am Perimeter, z. B. Kuhnt 127 u. a.). Bleibt der Heilungsprozeß auf irgend einer Stufe stehen, so bleiben im Gesichtsfeld entweder exzentrische halbmondförmige Inseln für farbige Objekte oder in günstigeren Fällen zentrale Skotome mit progressiver Rotgrünblindheit(z. B. Schapringer 129) zurück.

Amylalkohole.

Unter dem Einflusse der Dämpfe ist psychische Erregung bei einem Neurastheniker und mehrere Tage lang subjektives Farbensehen (abwechselnd Scharlachrot und Kornblumenblau) beobachtet worden (Hilbert 128).

Nikotin.

Daß durch Tabakgenuß allein typische Funktionsstörungen des Sehorganes bedingt werden können, unterliegt nach Lewin und Guillery keinem Zweifel. Meist liegt aber gleichzeitig Alkoholmißbrauch vor.

Verlauf, Auftreten im Gesichtsfeld und diagnostische Bedeutung der Farbensinnstörungen unterscheiden sich in keiner Weise von denen bei chronischer Alkoholvergiftung (s. d.).

Chromatopie ist mehrfach beobachtet worden. Manche sehen ihr zentrales Skotom auf helle Flächen projiziert farbig,

bes. bräunlich (z. B. Filehne 131), eine Erscheinung, welche die progressive Rotgrünblindheit nicht selten begleitet.

Oft tritt Chromatopie auch außerhalb des Skotoms im Gesichtsfeld auf. Wie so häufig, spielt sich dabei das Farbensehen gern in 2 Gegenfarben ab, sodaß entweder Blausehen mit Gelbsehen oder auch Rot- mit Grünsehen usw. auftreten kann. 2 Beispiele mögen das Verhalten illustrieren.

1. Patient mit S = $\frac{1}{2}$—$\frac{1}{3}$ und zentralem Skotom im Sinne der Rotgrünblindheit, sah zuerst einen bläulichen, dann orangegelb werdenden Nebel. Dieses Gelbsehen hielt mehrere Monate an, nahm allmählich an Intensität ab und erlosch, während die Sehschärfe normal wurde und das Skotom verschwand (de Schweinitz)[1]).

2. Filehne (131) teilt in seiner Selbstbeobachtung folgendes mit: „Blickte ich nach längerem Augenschluß auf eine sehr helle Landschaft, so war zuerst das zentralere Gesichtsfeld von einem hier und da metallisch glänzenden grünlichen und rötlichen Schleier bedeckt. Bei schwacher Beleuchtung sah ich auch gegen meinen Willen alle weißen oder indifferenter gefärbten Flächen beständig rot und grün marmoriert. Nur selten ging das Rot in Violett über und dann wechselte stellenweise auch das Grün nach Gelb usw. Die Marmorierung erstreckte sich noch über die Grenzen des Skotoms hinaus; sie war eine fortwährend wechselnde, sodaß jeder Punkt bald grün, bald rot war; die breiten roten und grünen Farbenmassen wälzten sich fortwährend durcheinander (übrigens auf den beiden Augen verschieden)".

Kaffee und Tee.

Wenn eine Funktionsstörung auf übermäßigen Genuß der beiden Getränke zurückgeführt werden muß, — jedenfalls eine sehr seltene Erscheinung — so ähneln die Symptome auch hier der Alkoholintoxikation, d. h. es tritt ein vorübergehendes zentrales Skotom auf, in dessen Bereich als Teilerscheinung der Funktionsstörung wieder die erworbene Rotgrünblindheit sich nachweisen läßt (Widmark (134) berichtet über Kaffee-, Campbell (133) über Teevergiftung).

Opium und Morphium.

Auch infolge Opium- und Morphiummißbrauchs sind einige Male vorübergehende doppelseitige zentrale Skotome mitgeteilt worden (vergl. auch Lewin-Guillery), bei denen die Symptome einer Rotgrünblindheit als Teilerscheinung der allgemeinen Funktionsstörung bestanden (z. B. Lewinstein 135). Gleichzeitig wurde auch hier Einengung der peripheren Grenzen für Farben beobachtet (Grippo). Der Grad der fovealen Farbensinnstörung schien, soweit die vorhandenen Befunde ein Urteil erlauben, mit der Sehschärfe wieder annähernd übereinzustimmen, und mit deren Besserung stellte sich bei Grippo (136) auch wieder eine Besserung der Farbenempfindung (in einem Zeitraum von 3 Wochen) ein[2]).

[1]) Cit. nach Lewin-Guillery.

[2]) Erwähnt sei, daß einmal (Lewinstein 135) beim Lesen schwarze Buchstaben rot erschienen, eine Erscheinung, wie man sie auch bei seitlichem Einfall von grellem Sonnenlicht in das normale Auge wahrnehmen kann.

Schwefelkohlenstoff.

Im Gesichtsfeld tritt wohl regelmäßig wieder Rotgrünblindheit[1]) auf und zwar als zentrales Skotom von wechselnder Größe und Intensität, ähnlich wie bei der Alkoholneuritis. Ein ausgesprochenes Mißverhältnis zwischen Sehschärfe und zentralem Farbensinn scheint nicht beobachtet zu sein, soweit darauf überhaupt geachtet worden ist.

Auch die peripheren Grenzen für farbige Objekte sind zuweilen mehr oder weniger konzentrisch eingeengt. Soweit gleichzeitig sehr große zentrale Skotome bestehen, ist eine derartige Teilnahme der restierenden Gesichtsfeldperipherie ja eine nunmehr bekannte und häufige Erscheinung. Meist ist aber wohl auch hier wieder die konzentrische Einengung der Farbengrenzen als rein funktionelle Erkrankung aufzufassen, die im Zusammenhang steht mit psychischen Störungen. Diese sind gerade bei der Schwefelkohlenstoffvergiftung nicht selten und können sogar dem Bilde der Hysterie ähneln (vergl. Lewin-Guillery 120).

Subjektives Farbensehen kommt als Begleiterscheinung ohne besondere Charakteristika ebenfalls vor. Von einem Patienten wurde zeitweilig alles blaugrün, abwechselnd mit rosa gesehen (Bruce 137).

Jodsalze.

Farbensinnstörungen sind bisher kaum beobachtet worden. Lewin und Guillery erwähnen eine an Struma leidende Patientin, welche nach Jodgebrauch (die Dosis ist nicht angegeben) am Tage alle Objekte in einer flammigen, feuerroten, blendenden Beleuchtung sah. Mit dem Aussetzen des Jod verschwand auch die Erscheinung wieder.

Jodoform.

Funktionsstörungen infolge Jodoformintoxikation sind zwar selten, kommen aber zweifellos vor. Zu ihrer Ausbildung kann längere Zeit verstreichen, doch kann man in derartigen Fällen im Urin das Zurückbleiben des Jodoforms im Körper nachweisen.

Die Funktionsstörung verläuft etwa unter dem Bilde der Alkoholintoxikation. Fast regelmäßig bestehen zentrale Skotome, in denen je nach ihrer Intensität die verschiedenen Stadien der progressiven Rotgrünblindheit nachweisbar sind, mit

[1]) Ein Fall Hirschbergers, in welchem blaue Perimeterobjekte verhältnismäßig schlechter erkannt wurden, als bei Rotgrünblindheit zu erwarten stand, ist nicht eindeutig, da ophthalmoskopisch Aderhaut-Netzhautveränderungen sichtbar waren.

der üblichen Abstufung nach einer im Zentrum des Skotoms gelegenen Kernstelle. (Hirschberg 140, Priestley Smith 141, de Vries 143 u. a.) Auch hier wieder kann die Gesichtsfeldperipherie bei großer Ausdehnung des Skotoms mitbeteiligt sein, sodaß sich eine gleichzeitige konzentrische Einengung für Farben ergibt, oder es ist bei der Perimeteruntersuchung bis auf kleine periphere Inseln für Blau jede Farbenempfindung geschwunden (Critchet 142), kurz ganz wie bei der Alkoholintoxikation.

Ob eine konzentrische Einengung der farbigen Grenzen ohne zentrales Skotom überhaupt vorkommt, ist noch nicht erwiesen. Die Angaben in der Literatur enthalten hierüber keine genügenden Angaben (vergl. Mohr 144).

Thiuret.

Bei der Behandlung einer Verbrennung mit Thiuret wurde einmal eine schwere Funktionsstörung mit größerem zentralen Skotom (Rotgrünblindheit). beobachtet. Inwieweit allerdings ein Zusammenhang mit dem Medikament bestand, muß dahingestellt bleiben.

Arsen.

Im Verhältnis zu der Häufigkeit von Arsenintoxikationen überhaupt sind Funktionsstörungen des Sehorganes selten. Augenscheinlich ähneln sie auch hier denen bei Neuritiden, d. h. es treten vorzugsweise zentral gelegene Skotome auf im Sinne der progressiven Rotgrünblindheit (Liebrecht 146).

Blei.

Die Sehstörungen nach Blei sind schon seit alters bekannt, ebenso ist das Auftreten von Farbensinnstörungen hier häufiger beobachtet worden, wie sonst. Das rührt wohl z. T. daher, daß viele der Patienten Maler waren, die in ihrem Beruf mit bleihaltigen Farben zu tun hatten, und denen nun die Farbensinnstörung in ihrer Tätigkeit in erster Linie lästig war.

Da die Funktionsstörung erst in einer späteren Periode der chronischen Bleivergiftung aufzutreten pflegt, so sind in der Regel noch weitere Erscheinungen (vor allem Bleisaum und Kolik) vorhanden, sodaß man dadurch bereits auf das ätiologische Moment hingelenkt wird. Beim Fehlen weiterer Symptome außer den Augenstörungen sei man vorsichtig mit der Annahme einer Bleineuritis.

Als Farbensinnstörung kommt wiederum fast ausschließlich die progressive Rotgrünblindheit in Betracht, soweit die vorhandenen Aufzeichnungen ein Urteil gestatten.

Angaben, daß Grün und Rot erkannt wurden, dagegen blaue und gelbe Objekte nicht, sind in einem Falle von Ringskotom mitgeteilt (Stood 148). Schlüsse lassen sich aus dieser einen Angabe kaum ziehen. Übrigens ist das

Vorkommen einer erworbenen Blaugelbblindheit insofern hin und wieder möglich, als Netzhautexsudate wie auch Erscheinungen von Retinitis albuminurica bei Bleivergiftung beobachtet werden.

Die Art des Auftretens im Gesichtsfeld, wie überhaupt das ganze klinische Bild der Funktionsstörung ist kein so einheitliches mehr, wie bei der Alkoholneuritis.

Neben der schnell auftretenden, ev. vorübergehenden Amaurose hat das Hauptinteresse die eigentliche, mehr sich allmählich entwickelnde Bleineuritis (Uhthoff 121, Lewin-Guillery 120).

Ebenso wie ophthalmoskopisch ein wechselndes Aussehen vorhanden sein kann, ist auch die Ausbreitung der Funktionsstörung im Gesichtsfeld nicht immer typisch.

Am häufigsten ist doch noch das zentrale Skotom (3 Fälle von Uhthoff 121, 2 Beobachtungen von mir, Galley 151 u. viele andere). Mit Recht hebt Galley hervor, daß die zentralen Skotome in Wirklichkeit wohl viel häufiger sind, als aus der Kasuistik hervorgeht. In vielen Fällen scheint garnicht, oder doch nur mit großen Objekten untersucht zu sein. Die Größe der zentralen Farbenskotome kann aber auch hier wieder recht wechselnd sein, sodaß kleinere Skotome leicht übersehen werden könnten.

Zuweilen ist — wie auch bei der Alkoholintoxikation — die ganze Peripherie in der Funktion mit herabgesetzt, sodaß sich periphere Einengung und zentraler Defekt die Hand reichen und einzelne Farben (bei Wahl von Objekten von 10—20 mm Seitenlänge) ganz ausfallen können. Solche größeren Defekte zeigten z. B. Uhthoffs Fälle. Andererseits waren in einem Falle Galleys nur mit farbigen Objekten von 2 mm Größe kleine zentrale Skotome nachzuweisen. Auch „Kernstellen“, d. h. total farbenblinde bezw. absolute Stellen im Skotom kommen vor.

Im Gegensatz dazu wurde in vielen Fällen auch nur eine hochgradige konzentrische Einengung für alle Farben und auch für Weiß beobachtet (Wood 149, Guillery u. a.).

Funktionelle konzentrische Einengungen der peripheren Grenzen können vorkommen auf Grund von Hysterie, die sich bei der Encephalopathia saturnina entwickeln kann (Uhthoff).

In 2 Fällen wurden ferner relative Ringskotome beobachtet, das eine Mal nach vorheriger vorübergehender konzentrischer Einengung (Stood 148), das andere Mal bestand sogar ein doppeltes konzentrisches Ringskotom (Debore 147). Im letzteren Falle war wohl Hysterie mit im Spiele.

Hemianopsien werden mehrfach erwähnt, einmal trat im Verlaufe einer schwereren chronischen Bleiintoxikation eine echte homonyme Hemiachromatopsie auf (Bihler 150).

Chinin.

Die schädliche Dosis Chinin, nach welcher Farbensinn- bezw. Funktionsstörungen auftreten, ist durchaus verschieden. Hier spielen ganz abgesehen von äußern Einflüssen, wie Art des Salzes und der Einführung, wohl auch individuelle Dispositionen eine gewisse Rolle. Nach Gowers (155) beträgt das Minimum 5 g innerhalb 30 Stunden. Auf Grund von Selbstversuchen soll sogar schon bei 1,0 g salzsaurem Chinin beim Gesunden eine Einengung des Gesichtsfeldes auftreten (Oppenheimer 157).

Das **Cinchonidin** soll nach Lewin (156) ähnlich auf das Sehvermögen wirken können.

Mit der Chininamblyopie beginnt eine Gruppe von Intoxikationserkrankungen, welche von den bisherigen ganz abweichende Symptome aufweisen, besonders hinsichtlich der Gesichtsfeldstörung.

Während nämlich Skotome selten sind, tritt als typische Erscheinung die progressive Rotgrünblindheit in der Peripherie des Gesichtsfeldes in Gestalt von oft hochgradiger konzentrischer Einengung der Grenzen in den Vordergrund; sie kann entweder für farbige Objekte allein nachgewiesen werden (Roosa 152 und Ely 152) oder, wie meist, auch für Weiß. Man wird also bei Verdacht auf Chininstörungen besonders die peripheren Grenzen für die Erkennung farbiger Objekte prüfen.

Das Sinken der fovealen Funktionen braucht dabei nicht der konzentrischen Einengung parallel zu gehen, vielmehr kann Sehvermögen und fovealer Farbensinn trotz beträchtlicher Einengung längere Zeit normal bleiben.

Tritt auch hier eine Herabsetzung ein, so entspricht wieder der Grad der Rotgrünblindheit annähernd der Sehschärfe (vergl. S. 178).

Bessern sich die Funktionen dagegen, so scheint auch hier zuweilen wieder das bei der Alkoholintoxikation bereits erwähnte Mißverhältnis zwischen Farbensinn und Sehschärfe aufzutreten: die Farbenempfindung kehrt erst später, als die Sehschärfe wieder zurück (Seligsohn 158). Die so entstandene Differenz zwischen dem Grade der progressiven Rotgrünblindheit und der Sehschärfe kann oft recht beträchtlich werden, wie folgender Fall Grünings (153) beweist.

35jährige Frau, innerhalb 30 Stunden 80 Gran Chinin. Darauf typische Chininblindheit und Taubheit. 76 Tage später war allmählich die Sehschärfe wieder annähernd normal geworden bei konzentrischer Gesichtsfeldeinengung (bis auf etwa 20° Radius). Bei der Prüfung mit dem Spektroskop sowie mit vorgehaltenen farbigen Buchstaben erwies sie sich noch als totalfarbenblind. Nach 2 Monaten wurde im Spektroskop bereits das Spektrum halb gelb, halb blau gesehen, d. h. es war das Stadium der Rotgrünblindheit wiedergekehrt. Nach weiteren 2 Monaten war eine weitere Besserung eingetreten, bei Anwendung größerer farbiger Objekte wurde auch rot und grün gesehen usw.

Schließlich stellt sich jedoch der Farbensinn in den meisten Fällen, bei denen die Sehschärfe normal geworden ist, ebenfalls wieder völlig her, wie mehrfach beobachtet worden ist (z. B. Knapp 154).

Prognostische Bedeutung der Farbensinnprüfung. Die „Chininamblyopie" kann sich durchaus wieder zurückbilden. Wie überall bisher kann aber dem Grade der Farbensinnstörung hierfür keine prognostische Bedeutung beigemessen werden. Hat sich das Sehvermögen bereits wieder gebessert und besteht Farbenblindheit noch weiter, so bietet eine quantitative Prüfung mit pseudoisochromatischen Gleichungen oder mit der Rayleighgleichung einen recht brauchbaren Maßstab für die weitere Tendenz des Falles zur Heilung.

Die Rückbildung der Chininamaurose braucht nicht immer in der typischen Weise zu erfolgen, daß unter allen Umständen zuerst wieder die fovealen Funktionen auftreten. Anfangs ist exzentrisches Sehen wiederholt beobachtet worden, ebenso der Nachweis peripherer und zentraler Skotome.

Diagnostisch sind Verwechselungen mit der konzentrischen Einengung bei Hysterie möglich, umso mehr, als auch beide Erkrankungen gemeinsam vorkommen. Das ophthalmoskopische Bild bei der Chininintoxikation und das Charakteristische der konzentrischen Einengung bei der Hysterie (S. 309) werden jedoch leicht die Entscheidung herbeiführen.

Filix mas.

Die Dosis, nach welcher Sehstörungen auftreten oder zu befürchten sind, ist sehr verschieden. Es genügten sogar schon 3 gr. Andererseits werden zuweilen auch hohe Dosen vertragen. Mengen von 24—30 g innerhalb 3—4 Tagen wirken im allgemeinen schwer toxisch (Lewin-Guillery 120).

Die Häufigkeit von Sehstörungen bei Filixintoxikationen beträgt nach Lewin-Guillery 58,3% (81 Fälle). Der Eintritt der Störung erfolgt in der Regel innerhalb 24 Stunden, seltener nach mehreren (3) Tagen.

Die Art der Farbensinn- bezw. Funktionsstörung ist der bei der Chininintoxikation sehr ähnlich: es besteht anfangs ein-, meist doppelseitige Erblindung, die sich wieder zurückbildet unter dem Bilde der abnehmenden konzentrischen Einengung für Weiß und für Farben in ihrer normalen Reihenfolge (progressive Rotgrünblindheit in der Peripherie). Dabei kann wieder die Einengung der Farbengrenzen noch recht beträchtlich sein, während das Gesichtsfeld für Weiß schon wieder nahezu normal ist (z. B. Uhthoff 121).

Eine völlige Wiederherstellung der Funktionen ist auch bei der Filix-Vergiftung beobachtet worden (Katayama 159 u. a.).

Wie bei der Chininintoxikation kann auch hier offenbar die Rückbildung zuweilen abweichend erfolgen, sodaß neben konzentrischer Einengung Skotome für Farben während dieser Zeit nachweisbar sind (Viereck 162).

Ein vorübergehendes Skotom ohne vorherige Erblindung teilt z. B. von Krüdener (161) mit.

Cortex Granati.

Die Wirkung der Granatrinde gleicht derjenigen der Farnwurzel durchaus. Wiederum wurde nach anfänglicher Erblindung allmähliche Besserung unter abnehmender Einengung des Gesichtsfeldes beobachtet. Die Farbenempfindung durchläuft auch hier wieder die verschiedenen Stadien auf dem umgekehrten Wege der progressiven Rotgrünblindheit. Beobachtungen liegen vor allem vor von Sidler-Huguenin (160).

Dinitrobenzol und Nitrobenzol
(im Roburit enthalten).

Treten Funktionsstörungen ein, so herrscht auch hier die konzentrische Einengung der Gesichtsfeldgrenzen im Sinne der Rotgrünblindheit vor (z. B. Nieden 163).

Ob die Grenzen für blaue Objekte unter diejenigen von Rot sinken können, wie Lewin-Guillery mitteilen, ist zweifelhaft; in dem mitgeteilten Gesichtsfelde fallen die Grenzen für alle Farben nahezu zusammen (vgl. S. . .).

Neben der konzentrischen Einengung ist auch mehrmals ein zentrales Skotom beschrieben worden, ebenfalls im Sinne einer Rotgrünblindheit (Snell 164); auch Sesülinsky (168) berichtet über ein schnell auftretendes zentrales Skotom.

Anilin.

Einige wenige Fälle von Sehstörungen mit Erwähnung der Farbenempfindung sind bei Arbeitern, welche mit Anilin zu tun haben, mitgeteilt.

Die Erscheinungen ähneln denen der Nitrobenzolvergiftung: es sind sowohl konzentrische Einengungen der Farbengrenzen beobachtet worden, wie auch gleichzeitig zentrale Skotome von verschiedener Intensität im Sinne einer Rotgrünblindheit und doppelseitig exzentrisch gelegene Skotome bis 20° Durchmesser (Veasey 166).

Auch nach **Acetanilid** (Antefebrin) wurde akute hochgradige Herabsetzung der Funktionen des Auges beobachtet bei erheblicher Einschränkung des Gesichtsfeldes (die Dosis betrug 3 g; Hilbert 165).

Atoxyl und Arsacetin.

Nachdem Bornemann vor mehreren Jahren zum ersten Male die Sehstörung durch Atoxyl beschrieben hatte, haben sich

die Beobachtungen allmählich so gehäuft, daß eine besondere Affinität des Atoxyls und auch des Arsacetins zum Sehorgan nicht mehr geleugnet werden kann. (Von neueren Statistiken bringen Birch-Hirschfeld und Köster (171) eine Zusammenstellung von 46 Fällen, Judin (172) erwähnt 47 durch Atoxyl und 3 durch Arsacetin bedingte Sehstörungen, einige weitere haben sich inzwischen noch dazugesellt. Auch nach den verwandten Präparaten Soamin und Orsudan sind die gleichen Sehstörungen beobachtet worden (Clarke 174).

Die Farbensinnstörungen treten im allgemeinen gegenüber dem oft schnellen Verlauf der Sehstörung zurück, können jedoch für die Frühdiagnose der beginnenden Sehstörung von Wichtigkeit werden.

Der Verlauf der Funktionsstörung ist ein durchaus typischer, stimmt übrigens mit dem Bilde der Arsenvergiftung in keiner Weise überein. Leider ist er ein durchaus progressiver und deletärer.

Nach einiger Zeit (bis zu mehreren Monaten, aber auch nach Tagen) beginnen in der Peripherie des Gesichtsfeldes die Funktionen zu sinken im Sinne der progressiven Rotgrünblindheit[1]).

Infolgedessen wird das Gesichtsfeld zunächst für farbige Objekte (besonders für grüne und rote) enger, dann auch für weiße. Die erste Einengung erfolgt gewöhnlich auf der nasalen Seite, wenn auch noch Sehschärfe und Augenhintergrund normal erscheinen.

Mit trostloser Schnelligkeit tritt weiterhin eine hochgradige konzentrische Gesichtsfeldeinengung für Farben und sehr bald für Weiß auf, während die zentrale Sehschärfe ebenfalls abnimmt, immerhin aber noch längere Zeit einigermaßen erhalten bleibt.

Die Veränderungen der Sehnervenpapille (meist einfache Sehnervenatrophie) kann dabei sehr früh aber auch später auftreten (Igersheimer 169 u. a.).

Ein zentrales Skotom, d. h. ein vorzugsweises Befallensein des papillomakularen Bündels für Farben ist als Intoxikationsfolge mit

[1]) Die Ausnahme, die der Fall Padersteins (170) macht (Sinken der Empfindung vor allem für gelbe Farben) ist wohl nur eine scheinbare. Die gefundenen Symptome könnten auch durch eine Rotgrünblindheit bedingt sein.

Das Vorkommen der Rotgrünblindheit hat ein gewisses theoretisches Interesse insofern, als die Untersuchungen Birch-Hirschfelds und Kösters es wahrscheinlich machen, daß die Netzhautelemente den Angriffspunkt für das Gift bilden. Demnach müßte die Rotgrünblindheit auch bei bestimmten Netzhautdegenerationen die typische Funktionsstörung bilden.

Sicherheit noch niemals beobachtet worden. Tritt während der Behandlung mit Atoxyl oder den anderen Präparaten ein solches auf, so dürfte es sich wohl fast immer um eine luetische Neuritis handeln.

Ein solcher vereinzelt dastehender Fall von zentralem Skotom mit beginnender Rotgrünblindheit) wird von Pflughöft (173) berichtet. Er war auch durch seinen durchaus günstigen Verlauf ausgezeichnet.

Die Prognose ist bei dem progressiven Charakter der Sehstörung durchaus ungünstig und man muß auch dort, wo die periphere Rotgrünblindheit im Gesichtsfeld erst einen relativen Ausfall anzeigt, eine völlige Erblindung befürchten, die überhaupt nur selten ausbleibt.

Santonin.

Wenn auch die Dosis des genommenen santoninsauren Natrons einen gewissen Einfluß auf den Grad der Störung hat, so spielt doch auch hier die individuelle Empfindlichkeit eine bedeutende Rolle. Viele Patienten sehen bereits nach Einnahme von 0,1 santoninsaurem Natron die unten erwähnten Störungen, während einige auch nach wiederholten Dosen noch keine Veränderungen bemerken. Ebenso ist der Grad und die Art des Farbensehens individuell verschieden. Bei allen größeren Dosen bilden aber doch Farbensinnstörungen die Regel. (Vergl. auch S. 209). Auf Dosen von etwa 0,5 g tritt das Farbensehen nach 10—15 Minuten ein und hält mehrere Stunden an.

Die Farbensinnstörungen bestehen fast ausschließlich in der Chromatopie. Eine progressive Rotgrünblindheit als Funktionsherabsetzung infolge Sehnervenerkrankung ist bisher nicht mit Sicherheit beobachtet.

Die Mehrzahl der Patienten beschreiben die gesehene Farbe als Gelb oder Grünlichgelb. Dieses Gelbsehen nach Santoninvergiftung ist schon seit langem bekannt und von physiologischer Seite so eingehend untersucht worden, daß die genaueren Ergebnisse an anderer Stelle (S. 209) ausführlich berichtet worden sind. Dort wurde bereits auf das gleichzeitige Violettsehen hingewiesen. Auch über Grünsehen statt Gelbsehen ist mehrfach berichtet (Hilbert 175); ein anderer Patient sah nach 0,3 Santonin Gelb, nach weiteren 0,6 g Rot, dann Orange und schließlich wieder Gelb, ein anderer wieder Blau usw.[1]).

Außerdem wird über ungewöhnliche Abweichungen berichtet, so über ein blaues Gesichtsfeld, in welchem grüne Kugeln auftraten, sowie gelbe und rote sich lebhaft bewegten (Lewin-Guillery); überhaupt scheint subjektives Licht- und Funkensehen häufiger das Farbensehen zu begleiten.

---

[1]) Lewin-Guillery (120) II, S. 909

Die Sehschärfe erschien im Santoninrausche zuweilen sogar gesteigert, wie berichtet wird (vergl. Lewin-Guillery).

Das Gesichtsfeld für Farben kann im Santoninrausch geringe Einengungen erfahren, besonders für blaue Objekte (Folgeerscheinung des Gelbsehens). Über die Verteilung des Gelbsehens im Gesichtsfeld s. S. 211.

Pikrinsäure.

Gelbsehen wurde auch nach Einnehmen von Pikrinsäure (0,3 g) zu Versuchszwecken beobachtet (Hilbert 175). Es war nur schwach und hielt etwa 2 Stunden an. Violettsehen, ähnlich wie bei der Santoninintoxikation, wurde dabei nicht angegeben. Die Beobachtung reicht kaum aus, um die Frage zu entscheiden, ob die Ursache des Gelbsehens eine rein physikalische durch Gelbfärbung der brechenden Medien, oder eine etwa zerebral bedingte darstellt. Jedenfalls ist die Pikrinsäure im Glaskörper chemisch nachgewiesen worden[1]).

Chromsäure.

Nach Einpinselung der Füße mit 5% Chromsäurelösung wurde mehrfach vorübergehendes Gelbsehen beobachtet (176).

Kohlenoxyd, Leuchtgas.

Die Farbensinnalterationen zeigen etwa 3 verschiedene Formen, nämlich:

a) vorübergehende konzentrische Einengung für alle Farben und Weiß, die ziemlich hochgradig sein kann (z. B. Schmitz 177). Sie ist vielleicht zum großen Teil zentraler bezw. rein funktioneller Natur (vergl. Uhthoff 121), was auch dem Charakter der übrigen Intoxikationserscheinungen durchaus entsprechen würde.

b) Augenscheinlich am häufigsten tritt eine Hemianopsie einseitig oder doppelseitig in typischer Form auf. Sie kann entweder vollkommen sein, oder nur für Farben als Hemiachromatopsie bestehen (Friedenwald 179, Enslin 180). Sie bildet regelmäßig das Übergangsstadium aus anfänglicher Bewußtlosigkeit bezw. völliger Amaurose.

c) Endlich ist auch bei der Kohlenoxydvergiftung Chromatopie beobachtet worden. Hilbert (178) sah einen Patienten, der nach dem Erwachen aus der Bewußtlosigkeit etwa 10 Stunden lang alle, besonders aber helle Gegenstände glänzend schwefelgelb sah.

[1]) Lewin-Guillery II, S. 935.

Es ist noch zweifelhaft, ob bei der Kohlenoxydvergiftung die eintretenden Funktionsstörungen durch Erkrankung der Sehnerven bezw. der peripheren Sehbahnen bedingt sind (vergl. auch Uhthoff 121). Im allgemeinen weisen jedenfalls die beobachteten Farbensinn- und Gesichtsfeldstörungen mehr auf zentralere bezw. kortikale Affektionen hin, wenn auch in einzelnen Fällen ophthalmoskopische Veränderungen sichtbar waren.

Strychnin und Brucin.

Strychnin und Brucin sind, besonders in früheren Jahrzehnten, viel therapeutisch angewendet worden vor allem bei atrophischen Zuständen der nervösen Sehbahn. Sie verdanken ihren Ruf ihrer leider nur schnell vorübergehenden Steigerung der Funktionen des Sehorganes, die in Selbstversuchen mehrfach festgestellt worden sind.

Strychnin injiziert man etwa in Dosen von 0,002—0,005 g, Brucin in Dosen von 0,02 g. Letzteres Präparat wirkt etwa $^1/_6$—$^1/_{40}$ schwächer als Strychnin, auch soll es, wenn frei von Beimengungen, weniger störende Nebenwirkungen haben. Das Maximum der Wirkung tritt nach etwa 24—48 Stunden auf (Singer).

Die Wirkung auf die Farbenempfindung ist zweifellos eine steigernde. Die verschiedenen Lichtreize rufen eine lebhaftere Farbenempfindung hervor als normaler Weise, und Lichtreize, welche unter gewöhnlichen Beobachtungsbedingungen noch nicht farbig gesehen werden, erscheinen unter Strychnineinwirkung bereits in ihrer spezifischen Farbe. Mit anderen Worten die spezifischen Farbenschwellen sinken.

Das läßt sich leicht an folgenden Tatsachen feststellen: alle Farben sehen für den Normalen nach Strychnininjektion gesättigter aus. Betrachtet man ein lichtschwaches spektrales Band, so erscheint es verlängert. Das rührt jedoch keineswegs davon her, daß plötzlich Strahlen von bestimmter Wellenlänge eine Licht- bezw. Farbenempfindung auslösen, die unter normalen Verhältnissen stets unsichtbar bleiben, also dem sichtbaren Spektrum überhaupt nicht angehören. Es wird vielmehr nur die Empfindlichkeit für Strahlen gesteigert, die bei einem Spektrum von größerer Lichtintensität auch von jedem Normalen noch farbig gesehen werden würden. So kommt es, daß ein Spektrum von maximaler Lichtstärke, das auch für den Normalen länger erscheint, durch die Strychninwirkung nun nicht mehr an Ausdehnung zunimmt (Filehne 182).

Der quantitative Nachweis einer Zunahme des fovealen Farbensehens ist mit Sicherheit noch nicht erbracht (vergl. Singer 183). Damit ist nicht etwa das Fehlen einer Steigerung des Farbensehens bewiesen, sondern der Grund lag in der Schwierig-

keit einer exakten quantitativen Messung des Farbensinnes mittels Bestimmung der spezifischen Schwellen (S. 173) unter Ausschaltung der Suggestion. Letztere bildet bei allen derartigen Versuchen eine verhängnisvolle Fehlerquelle, wie ich mich selbst auch bei Untersuchungen über die Wirkung des galvanischen Stromes überzeugen konnte (vergl. auch Uhthoff).

Im peripheren Farbensehen mit seinem quantitativen Gepräge muß sich die Strychnin- bezw. Brucinwirkung natürlich ebenfalls, bezw. eher bemerkbar machen: Die spezifischen Grenzen für farbige Objekte erweitern sich, wenigstens ist das für Blau beobachtet worden (Filehne, v. Hippel 181 u. a.), und die Ermüdung, die sich normaler Weise an den Gesichtsfeldgrenzen für Farben äußert, verringert sich erheblich (Singer 183).

Die Anwendung dieser steigernden Wirkung des Strychnins und Brucins auf erkrankte Augen ist ja bekannt genug. Die Wirkung ist auf den Grad der progressiven Rotgrünblindheit eine ähnliche vorübergehend steigernde wie auf das periphere Farbensehen, was ja bei der Ähnlichkeit zwischen beiden nicht Wunder nimmt.

Mescal und Haschisch (Cannabis indica).

Es handelt sich hier um zwei Substanzen, deren Vergiftungssymptome — wenigstens in Europa — kaum eine Rolle spielen, welche aber mit interessanten und z. T. so lebhaften Visionen und Farbensehen einhergehen, daß ihre Besprechung gerechtfertigt ist.

Mescal.

Die Cactee wird in Mexiko von Eingeborenen zu Berauschungszwecken gebraucht. Das wirksame Prinzip sind Alkaloide (Antalonin).

In dem Mescalrausche ist das Gesichtsfeld auch für farbige Objekte durchaus normal (Heffter 185). Dafür beginnen die Gegenstände der Umgebung lebhafte Farben anzunehmen, vor allem Grün und Violett. So sah Heffter beim Betrachten heller Flächen vorwiegend grüne und violette Flecken. Ellis (184) berichtet ebenfalls, daß die Gegenstände im direkten Sehen anfangs violett, dann grün und goldgelb erscheinen, im indirekten Sehen wie bronziert. Schatten sahen bei heller Beleuchtung vorzugsweise violett aus.

Auch bei geschlossenen Lidern treten lebhafte Visionen auf mit herrlichem bunten Farbenspiel, teils als Landschaften, als Teppichmuster, Maeanderstreifen usw. Blau war nach Heffters Beobachtungen dabei wenig vorhanden, vor allem Rot, Orange, Grün, auch Gelb.

Haschisch.

Nach Genuß des indischen Hanfes (schon nach 0,04 gr Extr. Cannab. indicae) tritt unter psychischer Exzitation ebenfalls Farbensehen auf, vor allem Violettsehen; in einem anderen Falle vorherrschend Blau- und Grünsehen, während ein Arzt zunächst Orange — (Feuerfarben), dann Blausehen an sich beobachtete.

Auf Sehstörungen infolge Sehnervenerkrankung ist wohl bisher noch nicht mit Sicherheit nach Haschisch genauer untersucht worden (vergl. Uhthoff 121); Lewin u. Guillery sind von einer derartigen Wirkung überzeugt.

Eiweisszersetzung, Infektionen, tierische Gifte.

Nach den bisher besprochenen Giften muß der Vollständigkeit wegen noch einiger Gruppen gedacht werden, die ebenfalls zu Störungen des Farbensehens führen können; das sind:

a) die Intoxikationen mit Produkten der Eiweißzersetzung (metabolische Gifte),
b) die bei Infektionen in den Kreislauf gelangenden toxischen Stoffe,
c) Tiergifte, welche ebenfalls auf dem Wege der Blutbahn mit dem Sehorgan in Berührung kommen.

Eine eingehende spezielle Besprechung dieser Giftstoffe ist umso eher entbehrlich, als wir uns größtenteils auf das Gebiet der Neuritis nervi optici begeben würden. Das dort Gesagte gilt für die beobachteten Fälle mehr oder weniger mit, und wie dort, pflegt die Herabsetzung der Farbenempfindung (auf dem Wege über die Rotgrünblindheit) wieder nur eine Teilerscheinung der allgemeinen Funktionsstörung zu bilden.

In zweiter Linie tritt nicht selten eine Störung des Farbensehens ebenfalls als Chromatopie auf, wiederum unabhängig von anderen Funktionsstörungen des Sehorganes.

Wodurch sie bedingt wird? Es kann im allgemeinen auf das S. 199 ff. Gesagte verwiesen werden. Wahrscheinlich handelt es sich fast ausnahmslos um zentrale Ursachen, in dem Sinne, daß direkt oder indirekt durch die Anwesenheit der toxischen Stoffe die normale Funktion der Ganglienzellen leidet und zu abnormen Farbenvorstellungen führt.

Der Qualität der gesehenen Farbe, d. h. ob Gelb, Rot usw., in jedem Falle eine besondere Bedeutung zuzumessen, ist wohl kaum angängig, so lange nicht über die Auslösung des pathologischen Sehens näheres bekannt ist.

Manche Fälle lassen sich zweifellos auf einfache Weise erklären, wie z. B. Gelbsehen bei solchen Infektionen und Intoxikationen, welche zu Lebererkrankungen und Ikterus führen. In anderen Fällen ist der Zusammenhang mit der Infektion usw. vielleicht nur ein höchst lockerer und es kommt eher Neurasthenie in Betracht sowie Gefäßstörungen und Anämie, welche eine Ernährungsstörung des nervösen Apparates bedingen, ihrerseits freilich auf überstandene Infektionen z. T. zurückgeführt werden mögen.

Ein Beispiel hierfür bildet ein Patient Hilbert's (189), der mehrere Wochen nach einer schweren Influenza noch an Schwindel litt, bei anämischem Aussehen. Es trat nunmehr Blausehen hinzu, sodaß der Patient die Außenwelt dunkelkobaltblau, wie durch eine blaue Brille sah. Schwindel und Blausehen verschwanden nach 14 Tagen auf diätetische Behandlung. Der übrige Augenbefund war normal.

Im allgemeinen sei, was Infektionen und Intoxikationen anbetrifft, auf die vollständigen Literaturzusammenstellungen Hilberts (191, 192) hingewiesen. Hier mögen nur einige Beispiele angeführt sein:

Vergiftung mit Eiweißgehaltsprodukten.

Bei Wurstvergiftung wurde neben anderen Vergiftungserscheinungen (Schwindel, Übelkeit, Mydriasis, Doppelsehen usw.) beobachtet, daß die Patienten alle Gegenstände in grünem Schein sahen (Lewin-Guillery Bd. I, S. 655).

Bei Pilzvergiftung wurde Violettsehen beschrieben (Inoko).

Infektionen.

Im Verlaufe der Rekonvaleszenz bei Typhus wurde vorübergehend Gelbsehen beobachtet (s. Hilbert 192), bei Influenza sahen Brieger (188) und Hilbert (189) Gelbsehen u. a. m.

Tierische Gifte.

Bei Febris intermittens wurde ein eigentümliches vikariierendes Blausehen beobachtet. In 2 Perioden sah der betreffende Patient jeden 2. Tag 2 Stunden lang alle Gegenstände in blaßblauem Scheine. Auf Behandlung mit Zink bezw. also auf Sugestivbehandlung wich das Phänomen nicht, dagegen blieb es prompt und dauernd nach Chinindosen fort. Der übrige Augenbefund ergab, abgesehen von einer leichten venösen Hyperämie, normale Verhältnisse (Baas 187).

Bei Helminthiasis wurde vorübergehend Gelbsehen beschrieben (Königshöfer 190 u. a.). Vorkommendenfalls wird man jedoch stets zuerst daran denken müssen, daß bereits Santonin eingenommen sein kann. In diesem Falle würde das Gelbsehen natürlich keine ungewöhnliche Erscheinung darbieten.

Auch durch Pflanzengift wurde Chromatopie hervorgerufen.

F. Blendung und die Folgen vermehrten Lichteinfalls in das Auge.

Normaler Weise sind die nervösen Sehelemente in ausgiebiger Weise gegen ein Übermaß von Licht geschützt.

a) Gegen das im gewöhnlichen Leben ja meist von oben (Sonne) kommende Licht schützen die vorspringenden oberen Orbitalränder, ferner die Augenlider, die bis auf einen schmalen sogar noch durch die Wimpern unterbrochenen Spalt geschlossen werden können (Blinzeln).

b) In weitgehendem Maße reguliert ferner die Pupille die in das Auge gelangende Lichtmenge. Dazu kommt

c) die Absorption besonders der chemisch wirksamen kurzwelligen Strahlen innerhalb der brechenden Medien, vor allem durch Hornhaut und Linse, schließlich

d) die Pigmentierung des Augapfels, vor allem der Pigmentepithelien der Netzhaut, deren Zellfortsätze bekanntlich sich zwischen die Stäbchen und Zapfen erstrecken und sie so ebenfalls mit einem Lichtschutz umgeben. Die Tropenbewohner besitzen daher eine besonders starke Pigmentierung, während umgekehrt die Albinos mit ihren pigmentlosen Augen sehr unter der Blendung zu leiden haben.

In unserer modernen Zeit hat die Frage der Schädigung des Auges überhaupt, speziell seiner Funktionen durch übermäßigen Lichteinfall trotz dieser Schutzmaßregeln eine große praktische Bedeutung gewonnen. Vor allem sind es die meist aus ökonomischen Gründen in technischen Betrieben angewendeten Beleuchtungskörper mit ihrer hohen Lichtintensität und ihrem Gehalt an kurzwelligen Strahlen (Bogenlampen, Qecksilberdampflampen usw.), bei denen die Frage nach einer Herabsetzung der Funktionen der Augen nicht selten aufgeworfen wird. Bei den zunehmenden sportlichen Wintervergnügungen und dem damit verbundenen Aufenthalt auf Schneeflächen, auf Forschungsreisen in arktische Regionen ist die Möglichkeit einer Schädigung der Augen ebenfalls vorhanden, obwohl gerade in der jüngsten Zeit die Gefahren des Lichtes zweifellos zuweilen überschätzt worden sind.

Es liegen denn auch eine ganze Anzahl klinischer Beobachtungen durch Erkrankung der Augen infolge „Blendung" vor, die meist durch elektrisches Licht, durch die Sonne bei ungeschütztem Beobachten von Sonnenfinsternissen, seltener durch Aufenthalt auf Schneeflächen usw. bedingt waren. Auch nach Blitzblendung wurden die unten erwähnten Funktionsstörungen beobachtet; natürlich kommen nur diejenigen Fälle in Betracht, bei denen

der Blitz nicht direkt die betreffenden Personen getroffen, sondern nur eine Lichtwirkung stattgefunden hat.

Unter den mannigfachen Folgeerscheinungen, welche bekanntermaßen ein Überfluß an Licht oder an bestimmten Lichtstrahlen auf das Auge ausübt, sind Störungen des Farbensinnes eine nicht seltene Begleiterscheinung.

Für ihre Entstehung kommen alle diejenigen Strahlengattungen in Betracht, welche nach Passieren der brechenden Medien die Netzhaut treffen. Hierhin gehören in erster Linie alle sichtbaren Strahlen des Spektrums (s. S. 7), die von etwa 800 $\mu\mu$ Wellenlänge bis zu 400 $\mu\mu$ sich erstrecken. Daß ein recht beträchtlicher Teil besonders der kurzwelligeren sichtbaren Strahlen durch die zunehmende Altersgelbfärbung der Linse ferngehalten wird, wurde S. 232 bereits erwähnt. Auch von den sogen. ultravioletten Strahlen wird der größte Teil von Hornhaut und Linse zurückgehalten, zum mindesten von etwa 375 $\mu\mu$ an abwärts (Birch-Hirschfeld, Schanz und Stockhausen, Hertel, Best u. viele a.), während von den Strahlen von 400—375 $\mu\mu$ (die übrigens z. T. noch als Violett sichtbar sind), namentlich im Alter ebenfalls ein erheblicher Teil absorbiert wird[1]). Jedenfalls ist die Netzhaut gegen ultraviolette Strahlen recht geschützt, besonders im Verhältnis zu den sichtbaren Strahlen, wenngleich sich dieses Verhältnis bei Lichtquellen hoher Intensität natürlich etwas verschieben muß. Der Kampf, ob die sichtbaren oder die ultravioletten Strahlen mehr an der Schädigung beteiligt sind, hat die Fachpresse in den letzten Jahren mit reichlichem Stoff versorgt. Wenn auch genauere elektive Untersuchungen noch wünschenswert wären, so kann man doch sagen, daß höchstwahrscheinlich beide Strahlengattungen (s. a. unter Erythropie S. 206) verantwortlich zu machen sind, und daß es mehr auf ihre Quantität als auf die Qualität ankommt. Dabei spielen die kurzwelligeren Strahlen allerdings eine größere Rolle als die langwelligeren; die sichtbaren Strahlen, schon weil an Menge überlegen, eine größere als die ultravioletten (Best 199 u. a.).

Störungen des Farbensinnes treten sowohl dann auf, wenn plötzliche Einwirkungen von abnorm hohen Lichtintensitäten stattfinden (Kurzschluß, Blitzblendungen usw.), als auch bei längerem Aufenthalt in einer ungewöhnlichen Beleuchtung, die jedoch bei kurzer Einwirkung auf das Auge ohne Schaden ertragen

---

[1]) Die Angaben der einzelnen Autoren bezüglich der Absorptionszahlen schwanken etwas, z. T. infolge der verschiedenen Untersuchungsmethoden. Interessenten müssen daher auf die einschlägigen Arbeiten der genannten Autoren verwiesen werden.

wird, (Arbeiten bei Quecksilberdampflampen, Aufenthalt auf Schneefeldern usw.) Sie können eingeteilt werden in subjektives Farbensehen, in funktionelle Störungen des Farbensinnes und endlich in solche, welche sichtbare Netzhautveränderungen begleiten.

Das subjektive Farbensehen (Chromatopie) kann in verschiedener Weise auftreten. Eine häufige Störung ist die bereits beschriebene Blendungserythropie: die Patienten sehen kurz nach der Blendung alle Gegenstände rot bezw. rötlich (s. S. 204), während die als Schneeblindheit bekannten konjunktivalen Reizerscheinungen, wenn sie überhaupt auftreten, sich gewöhnlich erst nach mehreren Stunden einstellen. Sie hat mit der Erythropie oder überhaupt mit einer Farbensinnstörung übrigens nichts zu tun.

Das Sehen farbiger Flecke im Gesichtsfeld nach Blendung tritt fast stets dann auf, wenn plötzlich und oft wider Erwarten eine sehr große Lichtmenge in das Auge gelangt, z. B. ein plötzlich aufflammender elektrischer Lichtbogen, ein greller Blitz, beim Sehen in die Sonnenscheibe mit unbeschütztem Auge. Das darnach auftretende und beschriebene Farbensehen in Gestalt umschriebener bunter Flecke im Gesichtsfeld dürfte wenigstens zum Teil auf die farbigen Blendungsnachbilder zurückzuführen sein, die noch einige Zeit nachher recht störend wirken können. Es pflegt denn im allgemeinen auch nicht lange anzuhalten, sofern nicht noch eine traumatische Neurose infolge stärkerer psychischer Einwirkung sich anschließt und die Beschwerden verlängert und auch verstärkt.

Farbigsehen ist in der Literatur mehrfach mitgeteilt worden, so Gelbsehen von Defontaine[1]) u. a. m.

Viel seltener verbindet sich die Chromatopie mit sichtbaren Veränderungen der Netzhaut, für die die Blendung — wohl ausschließlich plötzlicher Einfall von Licht sehr hoher Intensität — verantwortlich gemacht werden kann. (Vergl. auch die experimentellen Untersuchungen Birch-Hirschfeld 195). Inwieweit dabei das subjektive Farbensehen speziell durch organische Veränderungen ausgelöst wird (z. B. durch Exsudate der Netzhaut) wird nicht immer festzustellen sein.

Als Beispiel sei ein Fall Uhthoffs (193) angeführt, bei welchem eine plötzliche Blendung durch eine Bogenlampe erfolgte. Nachdem der Patient von dem Momente der Blendung an einen schwarzen Fleck gesehen hatte, wurde dieser nach 8 Tagen kornblumenblau und schließlich gelb. Es waren ophthalmoskopische Veränderungen wahrnehmbar, denen eine Metamorphopsie

---

[1]) Cit. nach Birch-Hirschfeld (195).

entsprach. Auch wurden alle Farben mit dem geblendeten Auge weißlicher d. h. ungesättigter gesehen, ähnlich, wie es bei der progressiven Rotgrünblindheit aufzutreten pflegt.

Derartige Netzhautveränderungen können ihrerseits natürlich zu Farbenskotomen führen, die im allgemeinen dem S. 236 ff. Gesagten entsprechen.

Interessant und wichtig sind die Störungen des Farbensinnes, welche rein funktioneller Natur sind und ohne sichtbare Veränderungen der Netzhaut, zuweilen in ziemlicher Ausdehnung im Gesichtsfeld auftreten können, ja sogar bei normalem Sehvermögen.

Nach den bisherigen Beobachtungen scheinen sie ausschließlich im Sinne der „physiologischen Reduktion der Farbenempfindung" d. h. entsprechend der Rotgrünblindheit aufzutreten, mehr oder weniger hochgradig. Nach den Beobachtungen Nagels (197) kann man annehmen, daß anomale Trichromaten hierzu besonders neigen werden; es gelang ihm nämlich durch längere Einwirkung eines bestimmten farbigen Lichtes auf ein farbenschwaches Auge, dieses vorübergehend rotgrünblind zu machen.

Derartige Blendungsrotgrünblindheit kann anscheinend sowohl nach plötzlicher Lichtblendung auftreten wie nach länger dauerndem Aufenthalt an ungewöhnlich hellen und an kurzwelligen Strahlen reichen Lichtquellen, z. B. bei der Arbeit an Quecksilberdampflampen (Birch-Hirschfeld 195) oder nach längerem Aufenthalt auf Schneeflächen (z. B. Eigenbeobachtung Haenels nach 2tägiger Skitour, s. Best 198).

Die meisten beschriebenen Fälle sind nur mit farbigen Perimeterobjekten allerdings z. T. recht sorgfältig untersucht worden. Der am genauesten geprüfte Fall von Best (198) konnte leider auch nicht mit Mischungsgleichungen untersucht werden. Aus der festgestellten Verkürzung am roten Ende des Spektrums allein auf eine Übereinstimmung dieser erworbenen Farbensinnstörung mit dem protanopischen System zu schließen, erscheint in Anbetracht der Wichtigkeit der Frage doch gewagt. Wahrscheinlicher ist eine Übereinstimmung der Blendungsrotgrünblindheit mit der normalen peripheren bezw. mit der erworbenen progressiven Rotgrünblindheit. Der spektralanalytische Beweis steht noch aus.

Ähnliche Verhältnisse konnten übrigens von Beck (194) durch Blendung mit einer sonnenbestrahlten weißen Fläche künstlich hervorgerufen werden.

Zuweilen scheint das ganze Gesichtsfeld von der Herabsetzung der Farbenempfindung betroffen zu sein. Man findet dann eine konzentrische Einengung der Farbengrenzen, je nach Wahl der Objekte mehr oder weniger beträchtlich und stets mit normaler Reihenfolge der Farben (also die engsten Grenzen für Grün) (z. B. Terrien 196). Bei genauer Prüfung zeigt sich auch der foveale

Farbensinn bereits in der für Rotgrünblindheit typischen Weise verändert, z. B. orangefarbene kleine Objekte erscheinen gelb, violette blau usw. (Birch-Hirschfeld 195).

Ob anfangs stets das ganze Gesichtsfeld betroffen ist, mag dahingestellt bleiben, jedenfalls kann der Rückgang der Funktionsstörung in ungleichmäßiger Weise erfolgen, sodaß Ringskotome für Farben und ähnliche Erscheinungen vorübergehend nachweisbar sind. In anderen Fällen werden wohl auch nur konzentrische Einengungen gefunden, oder exzentrische sowie auch ausgesprochen zentrale Skotome, wie in dem Falle Bests, der wohl den höchsten bisher beobachteten Grad der Farbensinnstörung darstellt.

Die Prognose ist günstig. In der Regel verschwindet die Farbensinnstörung nach einer Reihe von Tagen, etwa 10—14, in dem sie allmählich immer geringer an Intensität und Ausdehnung im Gesichtsfeld wird.

Einfache rauchgraue Schutzgläser sind im allgemeinen bereits ausreichend, um das Auftreten zu verhindern.

Verzeichnis einschlägiger Arbeiten.

Störungen des dioptrischen Apparates.

1. Leber, Graefe-Saemisch, Handbuch d. ges. Augenheilk. 1. Aufl. Bd. V, 1877.
2. Bull, Bemerkungen über den Farbensinn unter verschiedenen physiologischen und pathologischen Verhältnissen. Graefes Archiv XXIX, (3) S. 71, 1883.
3. Treitel, Über das positive zentrale Skotom usw. Graefes Arch. f. Ophth. XXXI, (1), S. 259, 1885.
4. Wolffberg, Eine einfache Methode, die quantitative Farbensinnprüfung diagnostisch zu verwerten. Klin. Monatsbl. f. Augenh. XXIV, S. 359, 1886.
5. Boehm, Die Diagnose des Astigmatismus durch die quantitative Farbensinnprüfung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XXV, S. 429, 1887.
6. Seggel, Über die Prüfung des Licht- und quantitativen Farbensinnes. Arch. f. Augenheilk. XVIII, S. 303, 1888.
7. Birch-Hirschfeld, Die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf das Auge. Graefes Archiv f. Ophth. LVIII, S. 469, 1904.
8. Enslin, Über Blausehen nach Starausziehung. Zeitschr. f. Augenheilk. XV, S. 136, 1906.
9. Liebreich, Die Fehler des Auges bei Malern. Der Naturforscher No. 47, 1872 (zitiert nach Krarup, Physisch-ophthalmologische Grenzprobleme, Leipzig 1906).
10. Köllner, Über den Einfluß der Refraktionsanomalien auf die Farbenwahrnehmung, besonders auf die Beurteilung spektraler Gleichungen. Zeitschr. f. Augenheilk. XVIII, S. 430, 1907.

11. Duyse, van, Cyanopie et Xanthopie d'origine cristallienne chez le même sujet. Bulletin de la société de médicine de Gand. 1908.
12. Hess, Über Blaublindheit durch Gelbfärbung der Linse. Archiv f. Augenheilk. Bd. LXI, S. 29, 1908.
13. — Messende Untersuchungen über die Gelbfärbung der menschlichen Linse und ihren Einfluß auf das Sehen. Ebd. Bd. LXIII, S. 164, 1909.
14. — Weitere Mitteilungen über die Gelbfärbung der menschlichen Linse und ihren Einfluß auf das Sehen. Ebd. Bd. LXIV, S. 293, 1909.
15. Birch-Hirschfeld, Zur Beurteilung der Schädigungen des Auges durch leuchtende und ultraviolette Strahlen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLVII, (II), S. 26, 1909.
16. Hallauer, Über die Absorption von kurzwelligem Licht durch die menschliche Linse. Klin. Monatsbl. f. Augenh. XLVII, (II), S. 721. (Hier weitere einschlägige Literatur.)
16a. Hillemanns, Über Sehprüfung bei künstlicher Beleuchtung und Lichtsinnstörung besonders bei Myopie. Klin. Monatsbl. f. Augenh. XLVII, (II), S. 302, 382 u. 533, 1909.
17. Schmidt-Rimpler, Beobachtungen bei einseitiger Katarakt und Aphakie. Klin. Monatsbl. f. Augenh. XLIX, (I), S. 692, 1911.

Cirkulationsstörungen der Netzhaut.

Treitel, (vergl. No. 3).
18. Preyer, Pflügers Archiv I, S. 299, 1868.
19. Wagenmann, Beitrag zur Kenntnis der Cirkulationsstörungen in den Netzhautgefäßen. Graefes Arch. f. Ophthalm. XLIV, S. 233, 1897.

Hemeralopie.

20. Krienes, Der Lichtsinn und Farbensinn bei Erkrankungen der Netzhaut, Aderhaut und des Sehnerven. Wiesbaden 1896 Bergmann.
21. Krienes, Über Hemeralopie. Wiesbaden 1896 Bergmann.
22. Hess, Untersuchungen über Hemeralopie. Arch. f. Augenheilk. LXII, S. 50, 1908.

Retinitis pigmentosa.

23. Treitel, Über Gesichtsfeldmessungen mit Pigmenten. Archiv f. Ophth. 1879, XXV, 3, S. 24.
24. Köllner, Über das Gesichtsfeld bei der typischen Pigmentdegeneration der Netzhaut. Zeitschr. f. Augenheilk. XVI, S. 128 und (Berliner Ophth. Gesellschaft) Zentralbl. f. Augenheilk. S. 207, 1906.
25. Wilbrand u. Sänger, Neurologie des Auges. Wiesbaden, Bergmann. Bd. IV, 1909.
26. Lauber, Die sogenannte Retinitis punctata albescens. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLVIII, (I), S. 133, 1910.

Ablatio retinae.

Treitel (vergl. No. 23).
27. Leber, Graefe-Saemisch, Handbuch d. gesamt. Augenheilk. 1. Aufl. Bd. V, S. 640.
28. Cohn, Farbensinn und Lichtsinn bei Netzhautablösung und bei Wiederanlegung nach Drainage. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. I, S. 145, 1872.

29. — Über angeborene und erworbene Blaugelbblindheit. Breslauer ärztl. Zeitschr. 1879, I, 1. Hälfte.
30. Dimmer, Beiträge zur Pathologie der Netzhautabhebung. Wiener med. Presse, XXVII, No. 45 u. 46, 1886.
31. König, Über den Helligkeitswert der Spektralfarben bei verschiedener absoluter Intensität. Beiträge zur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane. (Festschrift zu v. Helmholtz' 70. Geburtstag.) 1891, p. 319, und gesammelte Abhandlungen zur physiol. Optik 1903. p. 144.
32. — Über Blaublindheit, Sitzungsberichte der Akad. d. Wissenschaften in Berlin. 8. VII. 1897, S. 718.
33. Schlösser, Die für die Praxis beste Art der Gesichtsfelduntersuchung. Vossius' Sammlung, III. Bd., Heft 8, 1901.
34. Simon, Über einen Fall von Aderhaut- und Netzhautablösung bei cyclischer Albuminurie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLIII, (I), S. 221, 1905.
35. Stargardt, Die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei Dunkeladaptation mit besonderer Berücksichtigung der Solutio retinae. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLIV, (II), S. 353, 1906.
36. Lohmann, Über eine interessante Trübung des hinteren Augenpols. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLIV, S. 526, 1906.
37. Cantonnet, La région papillo-maculaire et la périmétrie des couleurs dans le décollement rétinien. Arch. d'Opht. XXVI, p. 513, 1906.
38. Köllner, Untersuchungen über die Farbenstörung bei Netzhautablösung. Zeitschr. f. Augenheilk. XVII, S. 234, 1907.
38a. Lohmann, Untersuchungen über Adaptation und ihre Bedeutung für Erkrankungen des Augenhintergrundes. Arch. f. Ophth. LXV, S. 365, 1907.
39. v. Reuß, Beiträge zur Kenntnis der Erythropie. Arch. f. Augenheilk. LXII, S. 113, 1908.
40. Stargardt, Über Störungen der Dunkeladaptation. Graefes Arch. f. Ophth. LXXIII, S. 77, 1909.

Retinitis albuminurica und diabetica.

41. Mauthner, Über farbige Schatten, Farbenproben und erworbene Erythrochloropie. Wiener med. Wochenschr. 1881, No. 38 u. 39.
42. Knies, Die Beziehungen des Sehorganes und seiner Erkrankungen zu den übrigen Erkrankungen des Körpers usw. Wiesbaden 1892.
43. Simon, Über typische Violettblindheit bei Retinitis albuminurica. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. 1894.
44. Gerhardt, Blaublindheit bei Schrumpfniere. Münch. med. Wochenschrift 1900, S. 1.
45. v. Rynkerk, Nederl. oogheelk. Bijdragen. 1900. VII.
46. König, Über Blaublindheit. Sitzungsbericht der Kgl. Akademie der Wissenschaften, Berlin. 8. Juli 1897. Ges. Abhandlungen zur physiol. Optik. 1903, S. 396.
47. Simon, Über die diagnostische Verwertung der erworbenen Violettblindheit. Beitr. z. Augenheilk. (Festschrift für Julius Hirschberg.) 1905.
48. Collin u. Nagel, Erworbene Tritanopie (Violettblindheit). Zeitschr. f. Sinnesphys. 1906, Bd. 41. p. 74.

49. Köllner, Untersuchungen über die Farbensinnstörung bei Netzhautablösung. Zeitschr. f. Augenheilk. 1907, XVII, p. 234.
50. — Die erworbene Violettblindheit vom klinischen und physiologischen Gesichtspunkte. Zeitschr. f. Augenheilk. XIX, Ergänzungsheft S. 1, 1908.
51. Hilbert, Zur Kenntnis der pathologischen Farbenempfindungen. Zentralbl. f. Augenheilk. XXXIV, S. 33. 1910.

Retinitis specifica.

Treitel (vergl. No. 3).
52. Knies, Grundriß der Augenheilkunde. 3. Aufl. S. 254 u. 257.
53. Köllner, Zur Entstehung der erworbenen Rotgrünblindheit. Zeitschr. f. Sinnesphysiol. XLIV, S. 269, 1910.

Commotio retinae.

54. Collin u. Nagel, Erworbene Tritanopie. Zeitschr. f. Sinnesphysiol. XLI, S. 74.

Aderhauterkrankungen.

55. Hillemanns, Über Sehprüfung bei künstlicher Beleuchtung und Lichtsinnstörung besonders bei Myopie. Klin. Monatsbl. f. Augenh. XLVII, (II), S. 302, 1909.
55a. Hilbert, Über das subjektive Sehen farbiger Flecke im Gesichtsfeld usw. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLIII, 1905.
55b. — Ein Fall von farbigem Skotom. Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. 1907, Mai.
Vergl. ferner Treitel (No. 3).

Primäre Atrophie, Tabes.

56. Leber, Über das Vorkommen von Anomalien des Farbensinnes bei Krankheiten des Auges usw. Graefes Arch. XV, (3), S. 26, 1869.
57. Rieger u. v. Forster, Auge und Rückenmark. Graefes Arch. XXVII, (3), S. 109.
58. Work Dodd, Green vision in a case of tabes dorsalis. (Ophthalm. Society of the United Kingdom). Ophthalm. Review p. 86, 1899.
59. Uhthoff in Graefe-Saemisch, Handb. d. ges. Aug. II. Aufl., Bd. XI, Kapitel XXII, Teil II. 1904.
(S. hier weitere Literatur.)
60. Bregmann, Über Grün- und Violettsehen bei Tabes dorsalis. Deutsche Zeitschrift f. Nervenheilk. XXVI, und (poln.) Medycyna No. 12, 1904.
60a. Wilbrand u. Sänger, Neurologie des Auges. Wiesbaden, Bergmann, Bd. III, 1904.
61. Köllner, Über die Beziehungen zwischen Farbensinn und Sehschärfe bei Sehnervenerkrankungen. (Berlin. Ophthalm. Gesellschaft) Zentralbl. f. Augenheilk. S. 230, 1908.
62. H. Rönne, Does optic Atrophie in Tabes develop from a disease of the Ganglion Cells, or from the Nerve Fibres? Ophthalmology, VI, p. 387, 1910.
63. — Gesichtsfeldstudien über das Verhältnis zwischen peripherer Sehschärfe und dem Farbensinn, speziell die Bedeutung desselben für die Prognose der Sehnervenatrophie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLIX, (I), S. 154, 1911.

Stauungspapille.

64. L e b e r, Graefe-Saemisch, Handbuch d. ges. Augenheilk. I. Aufl. Bd. V.
65. v. H i p p e l, Die Palliativtrepanation bei Stauungspapille. Graefes Arch. f. Ophthalm. LXIX, S. 290, 1908 und Leipzig, Verlag von Engelmann. 1909.
66. C h a r l e s, The influence of the field of vision in determining for or against a palliative operation for Papilloedema, with report of a case. The Americ. Journal of Ophthalm. June 1909.
67. B o r d l a y u. C u s h i n g, Alterations in the color fields in cases of brain tumor. Archive of Ophthalmology. XXXVIII, No. 5, Sept. 1909.

Neuritis nervi optici.

(Meist infolge Nasennebenhöhlenerkrankung.)

68. Z i e m, Über Einschränkungen des Gesichtsfeldes bei Erkrankungen der Nase und ihrer Nebenhöhlen. Berlin. klin.Wochenschr. No. 37, 1888.
69. K u h n t, Über die entzündlichen Erkrankungen der Stirnhöhlen und ihre Folgenzustände. Wiesbaden 1895.
70. B i a l a c é e, Des troubles oculaires dans les sinusites maxillaires. Thèse de Lyon 1898 (ref. Revue générale d'Opht. 1899, p. 234).
71. B r y a n, Relation of diseases of the sinuses to those of the eye (Amer. med. Assoss.) Ophth. Review p. 349, 1899.
72. M e n d e l, Über nasale Augen-, insbesondere Sehnervenleiden. Centralbl. f. prakt. Augenh. S. 33, 1901.
73. U h t h o f f, Graefe-Saemisch, 2. Auflage, XI. Bd. XXII. Kapitel, 1904.
74. D e l n e u v i l l e, Un cas de complication oculaire de sinusite sphénoidale. La presse oto-laryng. belge No. 1, 1906.
75. O n o d i, Der Sehnerv und die Nebenhöhlen der Nase. H ö l d e r, Wien, 1907.
76. R e t h i, Amblyopie infolge von Nebenhöhleneiterung der Nase. Wiener med. Woch. No. 19, 1908.
77. K n a p p, Bilateral optic neuritis after ethmoiditis. Transact. of the amer. ophth. Society. XI, 3, S. 681, 1908.
78. P a u n z, Über die rhinogene Sehnervenentzündung. Arch. f. Augenh. LXI, S. 369, 1908.
79. M u r r a y, Optic neuritis due to chronic empyema of the frontal and anterior ethmoidal sinuses. Ophthalmic Record. S. 174, 1908.
80. S h o e m a k e r, Diseases of the accessory sinuses as a cause of inflammations of the eye usw. Amer. Journ. of Ophth. p. 163, 1908.
81. v a n d e r H o e v e, Sehnervenerkrankung bei Erkrankung der hinteren Nebenhöhlen der Nase. Arch. f. Augenheilk. LXIV, S. 18. 1909.
82. K ö l l n e r, Sehnervenerkrankungen bei Knochengeschwülsten der Augenhöhle. Berlin. ophthalm. Gesellschaft. November 1909.

82a. B i r c h - H i r s c h f e l d, Die Krankheiten der Orbita. Graefe-Saemisch, Handbuch, II. Aufl. Bd. IX, 1909.

83. K l e i j n, Beitrag zur Kenntnis der Sehnervenerkrankungen bei Erkrankung der hinteren Nebenhöhlen der Nase. Graefes Arch. f. Ophthalm. LXXV, S. 513, 1910.
84. J u n g, Ein Beitrag zu den Beziehungen zwischen Sehnervenentzündung und Nasenerkrankung. Graefes Arch. f. Ophthalm. LXXIV, S. 362, 1910.

85. Gutmann, Adolph, Augensymptome bei Erkrankungen der Stirnhöhle und Siebbeinzellen. Deutsch. med. Wochenschr. No. 25, 1910.
86. Hirsch, Ehrlich-Hata bei luetischen Augenerkrankungen. Münch. med. Woch. S. 2579, 1910.

Chiasma bis zur Hirnrinde.

87. Quaglino, Giornale d'Ophthalmologia 1867 (cit. bei Wilbrand und Sänger).
88. Leber, Über das Vorkommen von Anomalien des Farbensinnes usw. Arch. f. Ophth. XV, (3), S. 102, 1869.
89. Steffan, Beitrag zur Pathologie des Farbensinnes. Arch. f. Ophth. XXVII 2, S. 1, 1881.
90. Samelsohn, Zur Frage des Farbensinnzentrums. Centralbl. f. d. med. Wissenschaft. No. 47 u. 50, 1881.
91. Schöler-Uhthoff, Beiträge zur Pathologie des Sehnerven usw. Berlin, S. 69, 1884.
92. Eperon, Hémiachromatopie. Archives d'Ophtalm. IV, S. 356, 1884.
93. Verrey, Hémiachromatopsie droite absolue; conservation partielle de la perception lumineuse et des formes. Archives d'Ophtalm. VIII, p. 289, 1888.
94. Siemerling, Ein Fall von sogen. Seelenblindheit usw. Arch. f. Psychiatrie, XXI, S. 284, 1889.
95. Samelsohn, Ein Fall von Hemiachromatopsie. Berliner klin. Wochenschrift S. 331, 1890.
96. Uhthoff, Ein Beitrag zu den Sehstörungen bei Zwergwuchs und Riesenwuchs resp. Akromegalie. Berliner klin.Wochenschr. No. 22,1897.
97. Meisling, Über Hemianopsie. Hospit. Tid. p. 777. Dän. (ref. in Michels Jahresbericht S. 314), 1897.
98. Mackay und Dunlop, Scottish med. and surg. Journ. Dec. 1899.
99. Lenz, Beiträge zur Hemianopsie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLIII, (II), Beilageheft S. 263, 1905.
100. — Zur Pathologie der zerebralen Sehbahnen usw. Habilitationsschrift, Breslau 1909.
101. Bordley und Cushing, Alterations in the color fields in cases of brain tumor. Archiv of Ophthalm. XXXVIII, Sept. 1909.
102. Behr, Der Reflexcharakter der Adaptationsvorgänge usw. Graefes Arch. f. Ophthalm. LXXV, S. 201, 1910.
103. Bramwell, Cerebral abscess secondary to brochiectasis a. s. o. Review of Neurol. and Psychiatry, VIII, Febr. 1910.

Funktionelle Erkrankungen.

104. Cohn, Über hypnotische Farbenblindheit mit Akkommodationskrampf usw. Breslauer ärztliche Zeitschr. No. 6, 1880.
105. — Das Verschwinden der Farbenblindheit bei dem Erwärmen eines Auges. Deutsche med. Wochenschr. No. 16 1880.
105a. Schweigger, Zur Strychnintherapie nebst Bemerkungen über hysterische Sehstörungen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XIX, S. 415, 1881.
106. Heidenhain und Grützner, Farbenblindheit und Mangel des Temperatursinnes bei Hypnotischen usw. Breslauer ärztl. Zeitschr. No. 4 1884.

107. S c h i e l e, Über Miterregungen im Bereiche homonymer Gesichtsfeldbezirke. Arch. f. Augenheilk. XVI, S. 145, 1886.
108. H i l b e r t, Beitrag zur Kenntnis der transitorischen Farbenblindheit. Arch. f. Augenheilk. XVI, S. 417, 1886.
109. T h o m s e n, Zur Klinik und Kasuistik der traumatischen und Reflexpsychosen. Charité-Annalen XIII, S. 429, 1888.
110. W i l b r a n d und S ä n g e r, Über Sehstörungen bei funktionellen Nervenleiden. Leipzig 1892.
110a. H i l b e r t, Die Chloropie. Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 50, 1893.
111. B o r e l, 11. internat. med. Kongreß zu Bonn, Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. 1894, S. 233.
112. B e r n h e i m, Die Suggestion und ihre Heilwirkung. Deutsch v. Freund. II. Auflage. Deutsche Leipzig 1896.
112a. H i l b e r t, Das atypische Flimmerskotom. Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. 1898, S. 105.
113. R i c h t e r, Die Bedeutung der sensibel-sensoriellen Störungen bei Hysterie und Epilepsie und ihr Verhalten zu den Anfällen. Arch. f. Psychiatrie und Nervenkr. XXXI, S. 574, 1899.
113a. H i l b e r t, Zur Kenntnis der Chromatopien. Zeitschr. f. Augenh. IX, S. 594. 1902.
114. S c h w a r z, Die Funktionsprüfungen des Auges. Berlin, S. Karger. 1904.
115. B e r t o z z i, El senso chromatico e luminoso in alcune malattie del sistema nervoso. Annali di Othalm. XXXIV, S. 655, 1905.
116. G u t t m a n n, Ein Fall von Simulation einseitiger Farbensinnstörung. Zeitschr. f. Sinnesphysiol. XLI, S. 45, 1906.
116a. K l i e n, Über die psychisch bedingten Einengungen des Gesichtsfeldes. Arch. f. Psychologie und Nervenkrankh. XLII, S. 359, 1907.
117. K a f k a, Zur Kenntnis der Gesichtsfeldbeschränkungen von hemianopischem Typus auf hysterischer Grundlage. Prager med. Wochenschr. XXXIII, S. 483, 1908.
118. C h a r l e s, The determination of damages from the ocular examination, after an injury. Amer. Journ. of Ophth. p. 292, 1909.
119. W ö l f f l i n, Über ein seltenes Gesichtsfeldsymptom bei Hysterie. Arch. f. Augenheilkunde, LXV, S. 309, 1910.

Intoxikationen.

Literatur und Kasuistik bei

120. L e w i n - G u i l l e r y, Die Wirkungen von Arzneimitteln und Giften auf das Auge. Berlin 1905.
121. U h t h o f f, Graefe-Saemisch, Handbuch d. ges. Augenheilk. II. Aufl. Bd. XI.
121a. H i l b e r t, Über subjektive pathologische Farbenempfindungen infolge von Vergiftungen. Klin. Monatsbl. f. Aug. XLV, (I) S. 518, 1907.

Aethylalkohol.

122. M o e l i, Statistisches und Klin. über Alkoholismus. Charité-Annalen S. 524, 1884.
123. U h t h o f f, Untersuchungen über den Einfluß des chronischen Alkoholismus usw. Graefes Arch. f. Ophth. XXXIII, (1) S. 257, 1887.
124. B r a n c h l i, Über die durch Tabak und Alkohol verursachte Intoxikationsamblyopie. Inaugur.-Diss. Zürich 1889.

125. S i m i, Amblyopie nicotinico-alcoolica. Bollet. d'Oculist. XIII, 1891.
126. S a l v a, Le champ visual périphérique dans l'Amblyop. tox. Annales d'Oculist. CXVIII, S. 254, 1897.
126a. G a l l o w a y, Three cases of serious visual deficiency a. s. o. The Ophthalmocope p. 159. 1908.

Methyl- und Amylalkohole.

127. K u h n t, Zur Kenntnis der akuten Methylalkoholintoxikation. Zeitschr. f. Augenheilk. I, S. 38 1899.
128. H i l b e r t, Memorabilien. XLII, S. 137, 1899.
129. S c h a p r i n g e r, New York Acad. of Medic. 1901 Oktob. (cit. nach L e w i n - G u i l l e r y).
130. B i r c h - H i r s c h f e l d, Experimentelle Untersuchungen über die Pathogenese der Methyl-Alkohol-Amblyopie. Graefes Archiv f. Ophth. LII, S. 358, 1901.

Nikotin.

131. F i l e h n e, Über den Entstehungsort des Lichtstaubes usw. Graefes Arch. f. Ophth. XXXI, (2), S. 1, 1885.
132. L a q u e u r, Über die Tabaksamblyopie. Klin.-therap. Wochenschr. No. 23 u. 24, 1899.

Kaffee und Tee.

133. K e n n e t h C a m p b e l l, The Lancet p. 717, 1898.
134. W i d m a r k, 3 Fälle typischer Amblyopie usw. Mitteil. a. d. Augenklinik des Carolin. Instituts, Stockholm Heft 9, 1908.
Weitere Literatur s. a. b. L e w i n - G u i l l e r y, I, S. 447ff.

Opium und Morphium.

135. L e w i n s t e i n, W., Sehstörungen inf. chron. Gebrauchs v. Chloral, Morph. und Nicotin. Diss. Berlin 1883.
136. G r i p p o, L'ambliopia da morfinismo cron. Riforma med. IV, S. 122, 1895.

Schwefelkohlenstoff.

137. B r u c e, Chronic poisoning by bisulfide of carbone. Edinb. med. Journ. XXIX, (II), S. 1009, 1884.
138. D u m o n t, Atrophie papill. tox (sulf. de carbone). Bullet. de la Clin. ophth. de l'hôp. des Quince-vingts. V, p. 110, 1887.
139. U h t h o f f, Über den Einfluß des chronischen Alkoholismus. Graefes Arch. f. Ophth. XXXIII, S. 272, 1887.

Jodoform.

140. H i r s c h b e r g, Intoxikationsamblyopie durch Jodoform (Berl. med. Gesellsch.) Berliner klin. Wochenschr. S. 636, 1882.
141. P r i e s t l e y S m i t h, Toxic Amblyopia from jodoform. Ophthalm. Review p. 101, 1895.
142. C r i t c h e t, Toxic amblyopia, transact. of the ophth. soc. of the Un. Kingd. XVIII, p. 383, 1898.
143. d e V r i e s, Amblyopie toxica door jodoform. Neederl. Tijdschr. v. Geneesk. No. 25, 1900.

144. Mohr, Über Jodoformvergiftung usw. Arch. f. Augenheilk. XLV, S. 184, 1902.
145. Baas, Das Gesichtsfeld. Stuttgart 1896, S. 173.

Arsen.

146. Liebrecht, Kasuistische Beiträge usw. Klin. Monatsbl. f. Augenh. Mai 1891.

Blei.

147. Debore, Note sur l'hémiplégie saturnin usw. Le Progrès med. p. 99, 1879.
148. Stood, Zur Pathologie der Amblyopia saturnina. Graefes Archiv f. Ophth. XXX, (3).
149. Wood, A case of head poisoning, a. s. o. Med. News LXX, p. 700, 1897.
150. Bihler, Ein Fall von Bleiamblyopie. Arch. f. Augenh. XL, S. 274, 1900.
151. Gallay, Über Augenerkrankungen bei Bleivergiftung. Breslau 1902.

Chinin.

152. Roosa und Ely, Arch. of Ophth. IX, p. 41. (Übersetzt von Horstmann im Arch. f. Augenheilk. X, S. 221—223, 1881.)
153. Grüning, Ein Fall von Chininblindheit. Arch. f. Augenheilk. XI, S. 145, 1882.
154. Knapp, Über Chininamaurose. Arch. f. Augenheilk. XI, S. 156, 1882.
155. Gowers, Medical Ophthalmoscopy, 1893 (cit. nach Uhthoff).
156. Lewin, Nebenwirkungen der Arzneimittel. 3. Aufl. 1899, S. 434.
157. Oppenheimer, Beiträge zu den Beobacht. usw. Würzburg 1901.
158. Seligsohn, Chininamaurose. Berliner ophthalm. Gesellschaft. Sitzung am 17. Mai 1906.

Filix mas und Cortex Granati.

159. Katayama u. Okamoto, Über die Giftigkeit des Extractum Filic. usw. Cei-J.-Kwai Medic. Journ. Juni u. Juli 1892.
160. Sidler-Huguenin, Sehnervenatrophie nach Gebrauch von Granatwurzelrinde usw. Korrespondenzbl. f. Schweiz. Ärzte S. 553, 1898.
161. v. Krüdener, Zeitschrift f. Augenheilkunde XVI, Ergänzungsheft S. 4.
162. Viereck, Nebenwirkungen v. Extract fil. mas. Arch. f. Schiffs- und Tropenhygiene, X, S. 443.

Nitrobenzol, Dinitrobenzol und Anilin.

163. Nieden, Über Amblyopie durch Nitrobenzolvergiftung. Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 193, 1888.
164. Snell, Remarks on Amblyopia from Dinitrobenzol. Brit. med. Journ. I, S. 449, 1894.
165. Hilbert, Memorabilien. 1895, XXXIX, S. 65.
166. Veasey, Central amblyopia usw. Americ. Journal of Ophth. XV, S. 149, 1898.
167. Berger, Sehstörung infolge Anwendung eines anilinhalt. Haarfärbemittels. Arch. f. Augenheilk. L, S. 299, 1904.
168. Sesylinsky, Mitteilungen a. d. Augenklinik in Jurjew. Herausgegeben von v. Gretzky, Heft 2, 1904 (nach Lewin-Guillery).

Atoxyl und verwandte Präparate.

169. Igersheimer, Über die Wirkung des Atoxyls auf das Auge (hier Literaturzusammenstellung). Graefes Arch. f. Ophth. LXXI, S. 377, 1909.
170. Paderstein, Augenerkrankungen (Opticusatrophie) durch Atoxyl (und Arsacetin). Berliner klin. Wochenschr. 1909, S. 1023.
171. Birch-Hirschfeld u. Köster, Die Schädigung des Auges durch Atoxyl. Graefes Arch. f. Ophth. LXXVI, (3), S. 403, 1910, (hier ausführliches Literaturverzeichnis).
172. Judin, Ein Fall v. Atroph. d. Sehnerv. inf. Arsacetinbehandlung. Wochenschr. f. Th. u. Hyg. d. A. XIII, S. 37.
173. Pflughöft, Zur Behandlung mit Arsacetin. Münch. med. Wochenschrift 1910, S. 1395.
174. Clarke, Advanced optic atrophie, following the use of Soamin and Orsudan usw. The ophthalmolog. Society of the Unitead Kingdom).

Santonin, Pikrinsäure, Chromsäure.

Über die zahlreiche Literatur siehe auch S. 227, ferner bei

175. Hilbert, Pathologie des Farbensinnes. Vossius Samml. II, Heft 1, 1897, ferner Uhthoff, cf. 121.
176. — Deutsche militärärztl. Zeitschr. 1890, S. 239.

Kohlenoxyd, Leuchtgas.

177. Schmitz, The action of carbon. oxyde. The therap. Gazette, Febr. 1894.
178. Hilbert, Memorabilien. XL, S. 72, 1895.
179. Friedenwald, Hemiopia, following poisoning usw. Arch. of Ophth. XXIX, S. 294, 1900.
180. Enslin, Linksseit. homonyme Hemianopsie usw. Klin. Monatsb. f. Augenheilk. XLII (I), S. 39, 1904.

Strychnin und Brucin.

181. v. Hippel, Über die Wirkung des Strychnins auf das norm. u. kranke Auge. O. Müller, Berlin 1873.
182. Filehne, Zur Beeinflussung der Sinne, insbesondere des Farbensinnes usw. Arch. f. d. ges. Physiol. LXXXIII, S. 369, 1901.
183. Singer, Brucin und seine Einwirkung a. d. norm. Auge. Graef. Arch. f. Ophth. L, S. 665, 1900.

Mescal.

184. Ellis, A note of the phenomena of mescal intoxication. Brit. med. Journal p. 1540, 1897.
185. Heffter, Über Pellote usw. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmak. XL, S. 385, 1898.

Metabolische Gifte, Infektionen, Tiergifte.

186. Hilbert, Zur Kenntnis der Xanthopsie, Arch. f. Augenh. 1885, S. 419.
187. Baas, Periodisches Blausehen usw. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1885, S. 240.
188. Brieger, (Gesellsch. d. Chariteärzte Berlin.) Berlin. klin. Wochenschr. 1890, S. 209.

189. H i l b e r t, Farbensehen als Influenzafolge. Klin. Monatsbl. f. Augenh. XXXVI, S. 167, 1898.
190. K ö n i g s h ö f e r, Ein Fall von Xanthopsie. Ophthalm. Klinik II, No. 6, 1898.
191. H i l b e r t, Über subjektive pathologische Farbenempfindungen infolge von Vergiftungen. Klin. Monatsbl. XLV, (I), S. 518, 1907.
192. — Über Störungen d. Farbens. i. Gefolge int. Erkrankungen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLVI, (I), S. 256, 1908.

Blendung.

193. U h t h o f f, Einseit. zentrale Blendungsretinitis usw. Zeitschr. f. Augenheilkunde II, S. 341 1899.
194. B e c k, Über künstlich hervorgerufene Farbenblindheit. Arch. f. d. ges. Physiol. LXXVI, S. 634, 1899.
195. B i r c h - H i r s c h f e l d, Die Wirkung der ultraviolett. Strahlen a. d. Auge. Graefes Arch. f. Ophth. LVIII, S. 469.
196. T e r r i e n, Pronostic des troubles visuels d'origine électrique. Arch. d'opht. XXII, p. 692.
197. N a g e l, Über experimentelle Überführung trichromat. Farbensinnes in dichromatisch. Berlin. physiolog. Gesellsch. 15. März 1907.
198. B e s t u. H a e n e l, Rotgrünblindheit durch Schneeblendung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLV (II), Beilageh. S. 88, 1907.
199. B e s t, Über die Schädigung des Auges durch ultraviolett. u. Lichtstrahlen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLVIII, (1), S. 341, 1910.
200. V o e g e, Die ultravioletten Strahlen der modernen künstlichen Lichtquellen und ihre angebliche Gefahr für das Auge. Berlin, J. Springer, 1910.

Ferner die in den Jahren 1908—1910 erschienene zahlreiche Literatur über die Wirkung der ultravioletten Lichtstrahlen auf das Auge von S c h a n z und S t o c k h a u s e n, B e s t, V o g t, B i r c h - H i r s c h f e l d u. a.

III. Methodik der Farbensinnprüfung.

A. Prüfung des Farbensinnes im fovealen Sehen.

Die im Abschnitt I mitgeteilten Ergebnisse der Untersuchung und der spektralen Analyse erworbener Farbenblindheit zeigen die Wege für eine brauchbare klinische Untersuchung. Sie müssen gewissermaßen in das praktische übersetzt werden, wie eine Schriftsprache in die Umgangsdialekte.

1. Allgemeine Gesichtspunkte für die Farbensinnprüfung.

Für die Untersuchung auf Farbensinnstörungen gelten eine Reihe allgemeiner Gesichtspunkte, die zum Teil auch dann von Wichtigkeit sind, wenn man etwa beabsichtigt, neue Untersuchungsapparate zu konstruieren.

a) **Refraktionsanomalien** der Beobachter sollen wenigstens soweit korrigiert werden, daß eine räumliche Abgrenzung des farbigen Objektes, besonders zweier Vergleichsfelder voneinander mühelos gelingt. Kleinere Refraktionsanomalien üben einen nennenswerten Einfluß auf das Farbenunterscheidungsvermögen gegenüber Gleichungen nicht aus (s. auch S. 229). Beim Benennenlassen sehr kleiner farbiger Objekte ist jedoch Korrektion stets anzuraten.

b) **Die Art des farbigen Lichtreizes** bezw. die Beschaffenheit des farbigen Objektes ist für die Prüfung von größter Bedeutung; denn gerade der Lichtreiz stellt durchweg dasjenige variable Moment dar, das zur Grundlage für die Beurteilung des Grades der Farbensinnstörung dient.

α) Die Größe des Netzhautbildes des farbigen Objektes hängt sowohl von dessen Größe wie von seiner Entfernung vom Beobachter ab. Beide können variiert werden, wenn man eine

Größenänderung des Netzhautbildes beabsichtigt. Der Einfachheit wegen, z. T. auch aus räumlichen Gründen und wegen der verschiedenen Helligkeit innerhalb eines Zimmers, empfiehlt es sich im allgemeinen mehr, die Entfernung konstant zu wählen und die Objektgröße zu verändern.

Größenveränderungen des farbigen Objektes kann man erzielen, indem man einen Satz verschieden großer Blenden (Diaphragmen) vorschiebt. Eine kontinuierliche Änderung erhält man am besten und einfachsten durch Benutzung eines Aubertschen Schiebers (Fig. 31). Irisblenden sind für einfachere Untersuchungen meist zu teuer und auch für genaue Messungen wegen der Abweichung von der Kreisform weniger geeignet (Nagel).

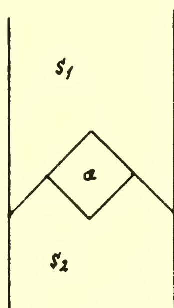


Fig. 31.
Die beiden Schieber S_1 und S_2 gleiten gegeneinander und schneiden zwischen sich das quadratische Objektfeld a von gewünschter Seitenlänge aus.

Das Netzhautbild soll im allgemeinen nicht über die Fovea centralis hinausreichen, es soll also das farbige Objekt bei Betrachtung auf Armeslänge nicht über 12 mm Durchmesser haben.

Jedoch ist es bei den erworbenen Farbensinnstörungen nicht möglich, immer eine gleichbleibende Objektgröße bei der Prüfung anzuwenden; denn bei beginnender Störung muß meist ein kleines Objekt von 1—2 mm Durchmesser gewählt werden, um an die Grenze der Erkennung der Farben zu gelangen. Andererseits muß bei fortgeschrittener Funktionsstörung mit stark herabgesetztem Sehvermögen die foveale Größe meist überschritten werden. Farbige Flächen, die unter einem Gesichtswinkel von mehr als 2—3° erscheinen, sollten nur ausnahmsweise angewendet werden. In jedem Falle muß die Objektgröße genau notiert bezw. im Bericht mitgeteilt werden. Es zeigt sich sofort, daß z. B. Holmgreensche Wollproben für die klinische Diagnostik nicht brauchbar sind.

Bietet man dem Beobachter zwei verschiedene Objekte gleichzeitig dar (Gleichungen s. S. 12), so sollen beide gleich groß sein und möglichst nahe aneinander liegen. Denn wenn der die Felder trennende Steg zu breit ist, so wird nicht nur der Vergleich erschwert, es besteht auch die Gefahr, daß eins der beiden farbigen Felder nicht mehr in das Bereich eines zentralen Farbenskotoms fällt; dadurch muß das Untersuchungsergebnis unrichtig werden.

Als numerisches Maß für den Grad einer Farbensinnstörung kann die Objektgröße für sich allein nur dann als ungefährer Anhaltspunkt dienen, wenn man sich vorher davon überzeugt hat, daß die Farbensinnstörung annähernd gleichmäßig innerhalb eines hinreichend großen zentralen Skotoms aufgetreten

ist. Ganz allgemein und für genaue quantitative Messungen ist die Methode nicht zweckmäßig (vergl. S. 174).

β) Die Qualität bezw. der Farbenton. Bestrebenswert ist in jedem Falle eine Prüfung mit reinen d. h. spektralen Lichtern; sie steht an Zuverlässigkeit bei weitem an erster Stelle, mag man sich dabei eines käuflichen Spektralapparates bedienen oder ein objektives spektrales Band mit einem Prisma entwerfen und auf einem weißen Schirm auffangen.

Da die spektralen Apparate wenigstens vorläufig noch zu teuer sind, um allgemein in die ärztliche Praxis eingeführt zu werden, müssen sie meist durch unreine farbige Lichter ersetzt werden. Sie werden durch Lichtfilter (farbige Glasplatten, Flüssigkeiten) oder durch Reflexion an farbig pigmentierten Flächen (bunte Papiere, Tuche) erzeugt. Derartige Filter oder Pigmente können bei wissenschaftlichen Untersuchungen des Farbensinnes zwar niemals die Stelle der homogenen spektralen Lichter vollkommen vertreten, auch wenn sie im Farbenton scheinbar mit dem betreffenden Spektrallicht übereinstimmen. Denn sie bleiben eben stets unrein, d. h. sie lassen niemals homogenes Licht von nur einerlei Wellenlänge durch und lassen sich in dieser Hinsicht auch technisch meist nicht ganz gleichwertig herstellen, wenigstens nicht ohne große Unkosten. Immerhin ist es aber wohl möglich, an Untersuchungsapparaten diese Mängel so gering zu gestalten, daß sie gegenüber den Beobachtungsfehlern des Patienten bei der praktischen Farbensinnprüfung vernachlässigt werden können, und daß doch recht gute Ergebnisse erhalten werden. Es ist besser, möglichst allgemein brauchbare, wenn auch nicht ganz einwandfreie farbige Objekte zu besitzen als gar keine.

Die farbigen Filter sind in den meisten Fällen den Pigmentfarben vorzuziehen, weil sich bei ihnen die Lichtstärke einfacher regulieren läßt.

Da es bei der Untersuchung wesentlich auf kleine Flächen ankommt, die ihre Farbe auch bei längerer Dauer nicht merklich verändern sollen, so verdienen nach Nagel die farbigen Gläser als Filter den Vorzug vor Gelatineplatten, die weniger haltbar sind und daher öfter frisch hergestellt werden müßten. Gläser mit farbigen Flüssigkeiten sind an kleinen handlichen Apparaten zu umständlich, wenn sie auch reinere Farben ergeben.

Unter den Gläsern sind im allgemeinen am reinsten die roten. Auch die Grün- und Blaufilter, welche zur Dreifarbenphotographie verwendet werden, geben verhältnismäßig reines Licht. Die übrigen farbigen Glasscheiben, besonders die gelben, lassen meist größere Teile des Spektrums hindurchgehen. Man kann sich in diesem Falle durch Kombination zweier verschiedener Glassorten von ähnlicher Farbe (z. B. Gelbgrün und Grünblau) helfen und so die Reinheit der Lichter

verbessern. Will man ein möglichst tonfreies Weiß haben, so muß bei den gebräuchlichen Lichtquellen (s. u.) gewöhnlich mit einem schwach blauen usw. Glase nachgeholfen werden.

Die Brauchbarkeit der Glasfilter muß jedoch mit Hülfe des Spektrums kontrolliert werden (z. B. indem man das Glas vor den Spalt schiebt). Auch scheinbar gleichfarbige Gläser können sich ganz verschieden in Bezug auf Reinheit verhalten[1]).

γ) Eine Abstufung der objektiven Sättigung der Farben (durch Zumischung von Weiß, S. 10) läßt sich leichter mit Pigmenten (farbigen Papieren) herstellen als mit Gläsern.

Bei letzteren kann man sich in einfacher und unvollkommener Weise helfen, indem man Gläser derselben Farbe von verschiedener Dicke bezw. mehrere Lagen übereinander verwendet.

Die Sättigungsabstufungen können bei der quantitativen Messung der erworbenen Rotgrünblindheit zweckmäßig Anwendung finden (S. 175).

Sowohl der Farbenton wie die Sättigung, in dem die farbigen Objektfelder dem Beobachter erscheinen, hängen in erheblichem Grade von der Färbung und Helligkeit ihrer Umgebung ab (siehe Simultankontrast S. 22). Da sich dieser Einfluß nie beseitigen läßt, bleibt nur übrig, ihn bei allen Untersuchungen zu einem möglichst konstanten zu machen. Man wählt deshalb die Umrahmung des Feldes besonders zweier Vergleichsfelder von unveränderlicher Helligkeit, gewöhnlich dunkelgrau.

δ) Die Intensität der farbigen Lichter ist in erster Linie abhängig von der Lichtquelle, welche zur Beleuchtung dient. Das Bestreben bei allen Untersuchungen muß sein, die Intensität der Farben möglichst konstant zu halten. Im gegebenen Falle wird sie dann willkürlich reguliert.

Das Tageslicht schwankt natürlich außerordentlich in seiner Helligkeit, je nach dem Stande der Sonne, der Dicke der Wolkenschicht usw. Diese Verhältnisse müssen wenigstens stets notiert sein, wenn man Tageslicht anwendet.

Zur Beleuchtung von Farbenapparaten sind daher künstliche Lichtquellen zweckmäßig, die in konstanter Entfernung aufgestellt werden. Aus Bequemlichkeitsrücksichten kommen für handliche Farbensinnprüfungsapparate im wesentlichen nur unsere gebräuchlichen Lichtquellen in Betracht, von denen diejenigen mit großer und konstanter Intensität ausgesucht werden müssen.

[1]) Genaueres über die Absorption und Reinheit der Gläser siehe Nagel (16) in Tigerstedt, Handb. d. physiologischen Methodik.

Dabei verdienen die elektrischen Glühbirnen (unter Metallfadenlampen bes. Osmiumlampen) und das Auerlicht vor Nernstlampen den Vorzug.

Kohlenfaden- und Metallfaden-Glühbirnen brennen nach Verlauf einer Anzahl Brennstunden befriedigend gleichmäßig hell, wenn der Strom auf gleicher Spannung gehalten wird. Nach Nagel sind 16kerzige Birnen zweckmäßiger als hellere, etwa 50kerzige. Nernstlampen nehmen dauernd an Lichtstärke ab, als sich bei der Rayleighgleichung schon deutlich zeigt; von der Stromspannung sind sie ebenfalls abhängig. Gasglühlicht ist wieder in der Helligkeit ziemlich inkonstant, schon wegen der Schwankungen des Gasdruckes und der Luftzufuhr, ganz abgesehen von der Empfindlichkeit des Glühkörpers. Seine Vorzüge liegen in der hohen Lichtstärke und in dem Reichtum an kurzwelligem Licht (s. u.) Spiritus- und Petroleum-Glühlicht ist daher vorzuziehen. Auerlicht und Nernstlampen sind gegen Luftzug empfindlich. Das Licht elektrischer Bogenlampen ist wenig brauchbar, da es plötzliche Helligkeitsschwankungen von mehr wie 100% eingehen kann[1]).

Die Qualität der künstlichen Lichtquelle bezw. der Gehalt an verschiedenen homogenen Strahlen ist sehr verschieden und für die Wahl der Beleuchtung bei den Farbensinnprüfungen von Wichtigkeit. Das mehr grünliche Auerlicht enthält reichlicher kurzwellige (blaue und violette) Strahlen, als das gelbliche Nernst- und elektrische Glühlicht. Daher wird es trotz seiner Inkonstanz z. B. bei Untersuchungen auf Blaugelbblindheit, bei denen man mit blaugrünen, blauen und violetten Lichtern arbeiten will, vorzuziehen sein, da diese Farben sonst zu sehr an Helligkeit einbüßen.

Der Unterschied in der Zusammensetzung der einzelnen Lichtquellen zeigt sich besonders bei Untersuchungen mit der Rayleighgleichung. Untersuchungen von Henius am Anomaloskop[1]) ergaben folgende Zahlen für das Mischungsverhältnis Rot-Grün, das zur Gleichung mit dem Natriumgelb erforderlich war:

Gasglühlicht	3,9
Spiritusglühlicht	3,7
Kohlefadenglühlampe alt	1,5
Tantallampe neu	1,9
Nernstlampe neu	2,7
Nernstlampe nach 7 Stunden	3,7
Nernstlampe nach $10^3/_4$ Stunden	3,4
Nernstlampe nach $11^1/_4$ Stunden	2,5

c) **Die Stimmung des Sehorganes,** besonders der zu prüfenden Netzhautstelle beeinflußt die Farbenempfindung in außerordentlichem Grade, wie bereits früher auseinandergesetzt ist. Sie muß daher stets berücksichtigt werden und soll bei allen Untersuchungen

[1]) Näheres Nagel (16).

möglichst gleichmäßig gehalten werden. Das gilt in erster Linie von dem **Adaptationszustand** des Sehorganes.

Das Farbensehen ist bekanntlich eine Eigentümlichkeit des Tagessehens und wird durch die Dunkeladaptation wesentlich beeinflußt (s. S. 18). Da dieser Einfluß sich dort zunächst unkontrollierbar gestalten muß, wo krankhafte Herabsetzungen der Adaptation vorliegen (z. B. Hemeralopie), soll eine Farbensinnprüfung im Zustande möglichster Helladaptation vorgenommen und der Vorgang der Adaptation nötigenfalls gesondert untersucht werden. Eine vollkommene Helladaptation in dem Sinne, daß das Purkinjesche Phänomen im Augenblicke der Prüfung nicht mehr nachweisbar ist, kann im geschlossenen Raum kaum erzielt werden (S. 21). Man muß sich daher in der Regel damit begnügen, die Prüfung des Farbensinnes in einem sehr gut erleuchteten, hellgestrichenen Zimmer vorzunehmen, und die Patienten vor der Untersuchung auffordern, sich einige Zeit im Hellen, am besten im Freien aufzuhalten. Bei länger dauernder Prüfung soll der Patient zwischen den einzelnen Beobachtungen wenigstens zum Fenster hinaussehen.

Will man außerdem noch feststellen, wie sich die Farbenempfindung bei herabgesetzter Beleuchtung, also mit zunehmender Dunkeladaptation verhält[1]), so notiere man sich wenigstens, auf welche Weise man die Herabsetzung der Zimmerbeleuchtung erzielt hat. Außerdem soll stets das Farbensehen des Patienten mit dem einer normalen Vergleichsperson, am besten mit sich selbst, verglichen werden; auf diese Weise erhält man eine Kontrolle, inwieweit normaler Weise die Dunkeladaptation bereits das Farbensehen beeinflußt hat. Natürlich müssen sich vorher beide Personen in gleichem Adaptationszustand befinden, nicht etwa der Patient aus dem Freien, die Vergleichsperson aus einem Dunkelzimmer kommen.

Diese Vorsicht ist besonders dann angebracht, wenn Netzhauterkrankungen (Ablatio retinae, Retinitis specifica usw.) in Frage kommen, und aus irgend welchen Gründen unter so großem Gesichtswinkel geprüft werden muß, daß erhebliche extrafoveale Netzhautpartien für das Sehen in Betracht kommen.

Auch die lokale Umstimmung des Sehorganes (S. 22) muß besonders bei spektralen Untersuchungen berücksichtigt werden. Der Beobachter darf nicht vor der Untersuchung eine farbige Fläche betrachten, sondern eine indifferente, graue bezw.

[1]) Bei Hemeralopien stets empfehlenswert.

weiße. Als störende farbige Flächen kommen z. B. dem Fenster gegenüberliegende rote Häuserfronten usw. in Betracht.

2. Die Farbensinnprüfung in der Praxis.

Welcher **Methode** sollen wir uns nun zuwenden? Jeder der außerordentlich zahlreichen Apparate für Farbensinnprüfung kann hier weder ausführlich noch kurz beschrieben werden. Damit wäre auch kaum ein Vorteil erreicht[1]). So lange unsere Kenntnisse gerade über die erworbenen Farbensinnstörungen noch stetig erweitert werden, kann überhaupt von einer endgültigen Methode noch keine Rede sein. Sie wird ebenfalls stetig verbessert und vervollkommnet werden müssen, wenn auch vielleicht auf den heutigen Grundlagen. In technischer Beziehung wird es die wesentlichste Aufgabe sein, möglichst preiswerte, handliche und doch vielseitige Spektralapparate zu schaffen, ferner die Fehler der Pigmente und farbigen Lichtfilter, die aus ökonomischen Gründen vorläufig für die Praxis doch noch hauptsächlich in Betracht kommen, zu verringern, ohne sie zu teuer oder kompliziert zu gestalten.

Von einer Prüfung des Farbensinnes verlangen wir, daß sie uns gleichzeitig darüber aufzuklären sucht:

1. liegt eine angeborene oder erworbene Farbensinnstörung vor;
2. welche Form der erworbenen Farbensinnstörung liegt vor, z. B. Blaublindheit (bezw. Blaugelbblindheit) oder Rotgrünblindheit, totale Farbenblindheit usw.;
3. welchen Grad hat die erworbene Farbensinnstörung erreicht. Hierfür kommt praktisch vorläufig fast nur die erworbene Rotgrünblindheit mit ihrem Ausgang in totale Farbenblindheit in Betracht.

Man muß deswegen festzustellen suchen:

a) Die Unterschiedsempfindlichkeit für verschiedenfarbige Lichter oder genauer für Lichter verschiedener Wellenlänge mit Hülfe von „Gleichungen“ (S. 12).

b) Falls zwei für den Normalen verschiedenfarbige Lichter gleich gesehen werden, das Helligkeitsverhältnis, bei welchem diese Gleichung angenommen wird.

c) Den Farbenton bezw. die Sättigung in welchem von dem Patienten die verschiedenen Lichter gesehen werden (die Qualität der Empfindung).

---

[1]) Überblick über die verschiedenen Methoden siehe Landolt, die Untersuchungsmethoden des Auges, Graefe-Saemisch, Handbuch d. ges. Augenheilk. II. Aufl. Bd. IV (III. Aufl. erscheint demnächst).

Mit Rücksicht auf Zeit und Unvollkommenheit der Hilfsmittel müssen dabei aus einigen wenigen Beobachtungen Schlüsse auf das gesamte Farbensehen der Patienten gezogen werden, die sich nach Erfahrungen an einer größeren Anzahl von Beobachtungen vorläufig als richtig erwiesen haben.

Somit bieten alle klinischen Prüfungen erworbener Farbensinnstörungen keine unbedingte Sicherheit, sondern nur eine mehr oder weniger große Wahrscheinlichkeit. Im Zweifelfalle wird eine quantitative Analyse des Farbensystems mit Hilfe spektraler Mischungsgleichungen immer in letzter Linie entscheiden müssen.

Hinzukommen in gegebenen Fällen die Untersuchung bei herabgesetzter Beleuchtung, Prüfung auf subjektives Farbigsehen, Farbenscheu, Erinnerungsvermögen, Sprachstörungen für gesehene Farben usw.

Die für die Untersuchung in Betracht kommenden und angegebenen Methoden können in verschiedene Gruppen eingeteilt werden[1]).

1. **Benennenlassen** der Empfindung, welche verschiedene einzeln dem Patienten dargebotene farbige Objekte hervorgerufen.

Im Gegensatz dazu fallen bei den folgenden Methoden die Benennungen fort.

2. **Pseudoisochromatische Gleichungen,** d. h. gleichzeitige Darbietung zweier Farben, die dem Normalen verschieden erscheinen und Prüfung, „ob der Beobachter beide gleich sieht oder nicht“.

3. **Mischungsgleichungen,** d. h. gleichzeitige Darbietung zweier farbiger Objekte und Prüfung, „ob der Beobachter beide gleich sieht oder nicht“. Mindestens das eine Objekt stellt jedoch ein meßbar veränderliches Gemisch aus 2 verschiedenen bestimmten Lichtern (Farben) dar.

4. **Wahlproben,** bei denen der Beobachter aus einer großen Anzahl verschiedenfarbiger Proben gleichartige nach vorgelegtem Muster herauszusuchen hat, ohne daß die Farben bei der Prüfung mit Namen genannt werden.

Keine dieser Gruppen von Methoden kann bei der Prüfung erworbener Farbensinnstörungen vollkommen entbehrt werden, und bei einer genaueren klinischen Untersuchung des Farbensinnes kommt man niemals mit einer Gruppe allein aus.

Für die Praxis empfiehlt sich deswegen folgendes Vorgehen:

a) In jedem Falle läßt man farbige Pigmente (Papiere, Tuche) von dem Patienten

[1]) S. auch Landolt in Graefe-Saemisch, Handbuch d. ges. Augenheilk. II. Aufl.

benennen und zwar in Verbindung mit der Untersuchung am Perimeter oder ähnlichen Apparaten (s. später).

b) Jeder Fall wird mit pseudoisochromatischen Gleichungen geprüft, z. B. an der Farbengleichungslampe (S. 364).

Bei eben beginnender Farbensinnstörung leistet die Untersuchung mit der Lampe aus technischen Gründen weniger, als eine sorgfältige Perimeteruntersuchung.

c) Wenn möglich, wird eine Prüfung mit der Rayleighgleichung vorgenommen, einmal als Kontrolle, ferner zur quantitativen Bestimmung des Grades der Störung, wenn progressive Rotgrünblindheit vorliegt.

d) Wahlproben kommen nur für bestimmte Fälle in Betracht.

Im einzelnen ist hierzu folgendes zu bemerken:

a) Benennenlassen farbiger Objekte.

Will man sich von dem Patienten angeben lassen, in welcher Farbe er die verschiedenen farbigen Objekte sieht, so geschieht dies am besten in Verbindung mit der Perimeteruntersuchung, nicht einfach dadurch, daß man ihm die Farben Rot, Gelb, Grün, Blau vorzeigt und fragt, was er sieht.

Allerdings werden gröbere Störungen des Farbensinnes auch auf letztere Weise meist (nicht einmal immer!) festgestellt. Handelt es sich aber um leichtere bezw. beginnende Farbensinnstörung, bei welcher geringe Abweichungen von Farbenton oder Sättigung in Frage kommen, so ist es für jeden Patienten schwer, ohne Vergleichsmöglichkeit die vorgehaltene Farbe zu beurteilen; noch viel mehr bei denjenigen Patienten, die sich selbst und den Arzt über den drohenden Fortgang ihres Leidens hinwegtäuschen möchten und nun alle ihre psychischen Einflüsse spielen lassen. Bei lang andauernder Farbensinnstörung gewöhnen sie sich auch daran, ähnlich wie die angeboren Farbenblinden, alle möglichen Hilfsmittel, Helligkeit usw. zu verwerten, um einen Schluß auf den Farbenton zu ziehen. So kann es kommen, daß die Angaben nicht mehr der wirklichen Empfindung entsprechen, und damit geht jedes Urteil über die Art der Farbensinnstörung vollkommen verloren. Am Perimeter dagegen prüft man die Empfindung beim Übergange des Objektes von gesunden auf erkrankte Teile des Gesichtsfeldes. Dadurch wird die Zuverlässigkeit der Angaben größer, denn der Patient ist in der Lage, direkt die dicht aufeinanderfolgenden Eindrücke zu vergleichen.

Zur schnellen Orientierung kann man auch ausnahmsweise einem Patienten rote, grüne, gelbe und blaue Objekte einfach vorhalten. Doch darf niemals aus richtigen Antworten auch auf einen normalen Farbensinn geschlossen werden; andererseits soll bei offenkundig falschen Angaben stets weiter untersucht werden, ehe man über Art und Grad der Farbensinnstörung ein Urteil fällt.

Da es sich demnach doch nicht um eine vollgültige Methode handeln kann, spielt hierbei die Auswahl der Farbenobjekte auch keine so wichtige Rolle. Man kann dazu farbige (Marxsche) Tuche nehmen, die in den Spezialgeschäften besorgt werden; am einfachsten hält man sich für Untersuchungen bei Tageslicht verschiedenfarbiges, nicht glänzendes Papier in Bogen vorrätig[1]). Auch farbige Gläser vor Lampen oder Gelatineplättchen z. B. an Taschenlampen für Prüfungen des Abends können verwendet werden. (Näheres siehe unter „Farbengesichtsfeld").

Man hat nun allgemeine quantitative Messungen des Farbensinnes und auf diese Weise eine zahlenmäßige Bestimmung seiner Störungen versucht, ähnlich wie es bei der Rotgrünblindheit bereits beschrieben wurde (S. 172). Diese quantitativen Methoden beruhten fast ausnahmslos darauf, daß man einfach mit meßbar veränderlichen farbigen Objekten (Gesichtswinkel, Helligkeit, Sättigung) angeben ließ, wann die Farbe in ihrem spezifischen Tone gesehen wurde, d. h. in dem Tone, in dem sie der Normale erblickt; kurz, es handelte sich um die Bestimmung der einfachen spezifischen Farbenschwellen[2]).

Man ist auf diese Weise bereits zur Festsetzung von **Durchschnittseinheiten der Farbenempfindung** gelangt, wie in neuerer Zeit Sauvineau (15), der als Einheit das Erkennen von einem beleuchteten farbigen Glase von 1 mm Durchmesser in einer Entfernung von 5 m bezeichnet und diese Zahlen einer Messung des Farbensinnes zu Grunde legt.

Aber nach den bisherigen Forschungen sind wir noch nicht (oder nicht mehr?) so weit, und es erscheint zum mindesten zweifelhaft, ob sich überhaupt ein so einfaches Maß für die Farbensinnstörungen wird finden lassen, selbst zugegeben, daß eine klinische Methode der Funktionsmessung sehr wohl ihre Mängel haben kann.

Näheres über quantitative Messung des Farbensinnes mit Hülfe der Schwellenbestimmung siehe unter Rotgrünblindheit (S. 172).

b) Pseudoisochromatische Gleichungen.

Das Wesen der pseudoisochromatischen Gleichungen beruht darauf, daß dem Beobachter gleichzeitig zwei für den Normalen verschiedenfarbige Objektfelder dargeboten werden, anstatt nur

[1]) Empfehlenswert sind die billigen Heringschen Papiere, erhältlich bei Richard Nendel, Verlagsbuchhandlung, Leipzig.

[2]) Natürlich kann weder ein räumliches noch ein Helligkeitsminimum unter allen Umständen als Schwelle gelten, vielmehr stehen sie in untrennbarer wechselseitiger Abhängigkeit voneinander.

eines. Dabei kommt es nicht darauf an, welche Farben der Patient sieht, sondern nur, wie schon der Name besagt, darauf, ob die beiden Felder völlig gleich (in Farbenton, Sättigung und Helligkeit)[1]) aussehen oder nicht. In letzterem Falle wird versucht, für den Beobachter eine vollkommene Gleichung herzustellen, die natürlich für den Normalen niemals gültig sein kann. Daher ist es bei allen Apparaten, die zu derartigen Untersuchungen dienen, notwendig, daß von den beiden Objektfeldern mindestens eins, am besten beide, im Farbenton und in der Helligkeit, am besten auch in der Sättigung verändert werden können (über die hierfür maßgebenden allgemeinen Gesichtspunkte s. o. S. 352ff.).

Mit pseudoisochromatischen Gleichungen sollte immer untersucht werden, wenn eine erhebliche Störung des Farbensinnes vorhanden ist oder vermutet wird.

Nicht viel Aussicht auf Erfolg bietet die Methode dann, wenn die Farbensinnstörungen sehr gering sind, vor allem, wenn das Skotom, innerhalb dessen die Farbensinnstörung besteht, sehr klein ist (z. B. beginn. Neuritis). Denn dann besteht meist die Gefahr, daß die beiden Vergleichsfelder nicht völlig in den Bereich des Skotoms kommen.

Die wohlfeilen Apparate sind auch aus technischen Gründen nicht für die Frühdiagnose ausreichend. Denn bei ihnen stoßen die Vergleichsfelder nicht unmittelbar aneinander (wie beim Heringschen Apparat), sondern sind durch einen Steg getrennt (wie an der Nagel-Köllnerschen Lampe). Auch die erforderlichen geringen Differenzen in Ton und Sättigung der Lichter lassen sich ohne Spektralfarben technisch nur unvollkommen herstellen.

Deswegen ist eine sorgfältige Perimeteruntersuchung besonders in Anfangsfällen unentbehrlich (schon weil die Skotome auch häufig exzentrisch beginnen können).

Vorzüge der Methode. Der Hauptvorteil der Gleichungen liegt einmal darin, daß der Untersucher nicht von der Benennung des farbigen Eindruckes der Patienten abhängig ist. Auf diese Weise nur ist eine gleichzeitige Prüfung auf angeborene Farbenblindheit möglich, da ja hier die Beobachter mit den gebräuchlichen Farbennamen ein ganz anderes Farbensehen verbinden als der Normale. Für diejenigen Krankheitsfälle, bei welchen gleichzeitig Sprachstörungen bestehen, ist die Methode der pseudoisochr. Gleichungen ebenfalls unersetzlich.

[1]) Man erlebt häufig, daß die Patienten zunächst angeben, das eine Feld wäre kleiner als das andere, nämlich dann, wenn ein erheblicher Helligkeitsunterschied zwischen beiden besteht. Es handelt sich dabei nur um die bekannte optische Täuschung, die für die Farbensinnprüfung natürlich nicht in Betracht kommt.

Ferner ist das Untersuchungsergebnis zuverlässiger als bei dem Benennenlassen farbiger Objekte, da ja die Gleichungsmethode auf die Qualität der Empfindung weniger Rücksicht nimmt, wenn auch die Perimeteruntersuchung dadurch nicht ersetzt werden kann, Ob zwei Farben gleich aussehen oder nicht, wird stets befriedigend genau von den Patienten angegeben.

Vorgehen bei der Untersuchung.

Da eine Hauptforderung der klinischen Diagnose eine kurze Dauer der Untersuchung ist, müssen möglichst wenig verschiedenfarbige Objekte angewendet werden. Man wird daher im allgemeinen mit den 4 Haupttönen Rot, Gelb, Grün, Blau, dazu noch ein farbloses Vergleichsobjekt, auszukommen versuchen. Untersuchungen mit vielen feineren Abtönungen verlieren auch wegen der Unreinheit der Lichter an Wert.

In zweifelhaften Fällen — und derer sind nicht wenige bei den komplizierten Verhältnissen der erworbenen Farbensinnstörungen — nimmt man eine Nachuntersuchung mit der Rayleighgleichung und schließlich mit weiteren, wissenschaftlicheren Methoden vor.

Es läßt sich natürlich kein genaues, allgemein gültiges Schema für die Diagnose erworbener Farbensinnstörungen mit Hülfe von pseudoisochromatischen Gleichungen aufstellen, nach dem die Untersuchungen vorzunehmen wären, da die Abhängigkeit des Ergebnisses von den Untersuchungsbedingungen zu groß ist und somit für jeden Apparat ein gesonderter ausführlicher diagnostischer Leitfaden nötig wäre. Das würde viel zu weit führen.

Eine rein schematische Untersuchung hat überhaupt große Bedenken. Man soll stets die Untersuchung mit Verständnis und in Kenntnis der Gesichtspunkte, auf die es ankommt, vornehmen, d. h. man muß die Hauptcharakteristika der einzelnen Formen der Farbensinnstörungen beherrschen. Im allgemeinen wird sich die Prüfung immer nach drei Richtungen hin erstrecken, nämlich:

1. Gleichungen zwischen den verschiedenen (bunten) Farben, also vorwiegend Rot, Gelb, Grün, Blau. Festgestellt wird das Unterscheidungsvermögen für Farbentöne; insbesondere ob längere „Endstrecken“ für das Spektrum anzunehmen sind, z. B. von Rot-Gelb-Gelbgrün (wie bei der Rotgrünblindheit) oder Blaugrün-Blau-Violett (wie bei der Blaugelbblindheit).

2. Wenn zwei Farben gleich gesehen werden, z. B. Rot und Gelb: Feststellung des Helligkeitsverhältnisses, in welchem dies geschieht.

3. Gleichungen zwischen den bunten Farben einerseits mit Weiß bezw. Grau andererseits. Festgestellt wird, inwieweit die einzelnen Farbentöne bereits ihre Sättigung verloren haben, d. h. also grau gesehen werden.

Der Normale muß sämtliche eingestellten Gleichungen ablehnen, d. h. die beiden Objektfelder stets verschieden sehen.

Hat man mit Hilfe pseudoisochromatischer Gleichungen eine Störung des Farbensinnes festgestellt (z. B. eine erworbene Rotgrünblindheit), so gilt das Ergebnis zunächst immer nur für die gewählte Versuchsanordnung (Größe, Intensität, Beschaffenheit der Farben der Objekte). Diese ist daher zu notieren.

Im Folgenden wird die Prüfung nur an der Hand der Farbengleichungslampe ausführlich besprochen werden, weil sie bereits bei der Untersuchung auf angeborene Farbenuntüchtigkeit Verwendung fand.

Der Apparat soll durchaus nicht die allein empfehlenswerte Methode darstellen. In ganz ähnlicher Weise kann mit jedem anderen Apparat ebenfalls verfahren werden, der nach ähnlichen Prinzipien aufgebaut ist. Zweifellos gibt es auch viel vollkommenere Methoden, wie der Heringsche Apparat. Die Lampe dürfte jedoch jedenfalls zu den billigsten dieser Art gehören und reicht für die praktisch-klinische Diagnostik neben dem Perimeter auch aus.

Untersuchungen mit der Farbengleichungslampe[1].

Da die Untersuchung nach anderen Gesichtspunkten erfolgt, ist ihr Gang etwas abweichend von dem, wie er zur Aufdeckung angeborener Farbenuntüchtigkeit eingeschlagen wird.

Objektgröße: Bei annähernd normalem Sehvermögen: 5 mm bis 3 mm, bei einer Sehschärfe von $^1/_6$—$^1/_{10}$: 10 mm. Die Entfernung vom Apparat beträgt dabei 1 m. Bei noch stärkerer herabgesetzter Sehschärfe wird am besten eine Objektgröße von 12 mm gewählt und der Beobachter dicht vor den Apparat gestellt. (Gröbere Refraktionsanomalien korrigieren! Objektgröße und Entfernung des Beobachters notieren!)

[1]) Beschreibung S. 80.

Man beginnt mit den für die Diagnostik angeborener Farbensinnstörungen angegebenen Einstellungen (S. 83):

1. Dunkelrot = Hellrot. Die Felder werden bei keiner Farbensinnstörung gleich gesehen. Die Einstellung stellt nur eine Falle für die angeboren Farbenblinden (Protanop und Deuteranop) dar (s. früher). Frage: Welche Farben sehen Sie hier?

Verhalten der erworben Farbenblinden, für welche, wie gesagt, die Einstellung gar nicht in Betracht kommt: Wie der Normale verhält sich der Blaugelbblinde, er antwortet also: Dunkelrot, Hellrot. Auch Patienten mit beginnender progressiver Rotgrünblindheit unterscheiden sich bei der Einstellung nicht von den Normalen. Manche Beobachter geben an, sie sähen das Rot im ganzen „schmutziger", „blasser" oder mehr orange als, früher oder wie mit dem gesunden Auge.

Im vorgerückteren Stadium erworbener Rotgrünblindheit wird (ebenso wie bei der Protanopie und Deuteranopie) dunkles und helles Gelb gesehen, aber die Patienten haben meist nicht gelernt, darunter verschiedene Farben zu vermuten, sondern sie beurteilen in der größten Mehrzahl die Farben nach ihrer früheren normalen Farbenempfindung und pflegen es daher auch als gelblich (oder gelblichweiß, in fortgeschritteneren Fällen auch weiß) von verschiedener Helligkeit zu bezeichnen.

Farblos, nur hell und dunkel, erscheinen die Felder bei der totalen Farbenblindheit und bei allen Farbensinnstörungen, welche dieser nahe stehen.

2. Rot auf beiden Hälften gleich hell: Lediglich vorbereitende Einstellung für alle weiteren Prüfungen. Alle Patienten müssen die beiden Felder ganz gleich sehen; sie überzeugen sich daher, daß es für sie möglich ist, eine Gleichung zu bekommen. Wird konstant eine Hälfte als dunkler oder andersfarbig bezeichnet, so liegt eine erworbene Farbensinnstörung vor und zwar ein kleines zentrales oder parazentrales Skotom, in dessen Bereich nur die eine farbige Scheibe fällt. In diesem Falle verkleinert man die Objekte, wenn notwendig, bis auf 1 mm Seitenlänge und versucht, ob nunmehr eine Gleichung angenommen wird. Eine Kontrolle am Perimeter (bezw. am Haitzschen Apparat u. a.) darf natürlich nie unterlassen werden.

3. Rot-Gelb, eine der wichtigsten Gleichungen. Das rote Feld wird maximal hell gemacht, das gelbe solange in der Helligkeit verändert, bis für den Beobachter eine völlige Gleichung entsteht.

Keine Gleichung wird angenommen außer vom Normalen von dem anomalen Trichromaten, vom Blaugelbblinden und bei der beginnenden progressiven Rotgrünblindheit.

Gleich erscheinen die Felder dagegen bei allen Formen totaler Farbenblindheit, bei der progressiven Rotgrünblindheit, der angeborenen Protanopie und Deuteranopie (sowie bei atypischen angeborenen und erworbenen Farbensinnstörungen).

In letzterem Falle ist also zunächst notwendig, totale Farbenblindheit auszuscheiden. Sie ist dann vorhanden, wenn eine Gleichung zwischen allen Farben, vor allem Rot und Blau, sowie zwischen Gelb und Blau möglich ist. (Über Unterscheidung der einzelnen Formen S. 195).

Werden letztere Gleichungen abgelehnt, so liegt fast immer Rotgrünblindheit, angeboren oder erworben, atypisch oder typisch vor. Werden dabei auch die Gleichungen zwischen Gelblichgrün und Gelb (späterhin auch Gelblichgrün und Rot) angenommen, so handelt es sich um typische Rotgrünblindheit, andernfalls um atypische Formen.

Die Entscheidung, ob angeborene oder erworbene Rotgrünblindheit vorliegt, erfolgt mit Hilfe von Gleichungen zwischen Farben und Weiß und durch Bestimmen des Helligkeitsverhältnisses bei der Rotgelbgleichung (siehe S. 182).

So hat man sich nun ungefähr orientiert, ob angeborene Farbenblindheit (Rotgrünblindheit und totale Farbenblindheit), sowie schwerere erworbene Störungen des Farbensinnes (erworbene totale Farbenblindheit, vorgerückteres Stadium der progressiven Rotgrünblindheit) vorliegt oder nicht.

Wurde die Rot-Gelbgleichung nicht angenommen (ebenso auch die Rot-Gelbgrüngleichung nicht), so untersucht man weiterhin am besten nicht mehr nach einem bestimmten Schema, sondern lieber darauf, ob der Farbensinn im Sinne einer Rotgrünblindheit oder einer Blaugelbblindheit herabgesetzt ist. Das Verhalten der Patienten in diesen Fällen ist bereits S. 170 und S. 125 angegeben. Im Zusammenhang soll hier noch einmal das zweckmäßigste Vorgehen erwähnt werden.

a) Untersuchung, ob beginnende Rotgrünblindheit vorliegt (bei Verdacht auf Neuritis n. opt., Intoxikationen usw.): Objektgröße bei einem Sehvermögen bis zu $^1/_2$ herab am besten nicht über 3 mm, bis zu $^1/_6$ 5 mm, darunter wie oben. Jedesmal, wenn eine Gleichung angenommen wird, versucht man, ob sie auch bei größerem Felde gültig bleibt.

Die Größe des Winkels α z. B., unter dem die Farben gesehen werden, läßt sich leicht berechnen. Wenn a die Seitenlänge des farbigen Quadrates, e die Entfernung des Beobachters vom Apparat bedeutet, beide in cm ausgedrückt, ist $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{a}{e\sqrt{2}}.$ Bei größerer Entfernung kann $\sqrt{2}$ vernachlässigt werden

1. Bläulichgrün-weiß (Bläulichgrün = Gegend des „neutralen" Punktes!). Die Helligkeit der Felder wird etwa so eingestellt, daß für den Normalen beide gleichhell (aber verschiedenfarbig) aussehen, das grüne bleibt dabei maximal hell.

α) Wird die Gleichung abgelehnt, so ist beginnende Rotgrünblindheit wenig wahrscheinlich. Zur Sicherheit versucht man aber noch, ob die Gleichungen Gelblichgrün-Weiß und Gelblichgrün-Gelb angenommen werden. Wird bei keiner dieser drei Einstellungen eine Gleichung erhalten, so ist am Gleichungsapparat

k e i n A n h a l t für progressive Rotgrünblindheit (vielleicht aber bei der Perimeteruntersuchung, die ersten Anfänge sind nur hier nachweisbar!).

Man kann die Bedingungen für die Untersuchung dann durch Verkleinerung des Gesichtswinkels noch weiter erschweren und bei 1 mm Objektgröße die Prüfung wiederholen.

β) Wird die Gleichung a n g e n o m m e n, besteht wahrscheinlich beginnende progressive Rotgrünblindheit oder angeborene Farbenschwäche.

Zur Unterscheidung beider dienen 1. die nachfolgenden Einstellungen Gelblichgrün-Weiß und Gelblichgrün-Gelb. Beide werden bei beginnender erworbener Rotgrünblindheit meist schon angenommen, bei angeborener Farbenschwäche abgelehnt (Gelb und Grün sehen dann „farbig" aus gegenüber dem Weiß). 2. Die Perimeteruntersuchung auf ein „Skotom", das natürlich bei der angeborenen Farbenschwäche fehlt. 3. Die Rayleighgleichung.

2. G e l b l i c h g r ü n - W e i ß (Helligkeitseinstellung der Felder wie vorher).

Wird die Gleichung angenommen, liegt mit großer Wahrscheinlichkeit progressive Rotgrünblindheit vor.

Es folgt dann am besten

3. G e l b l i c h g r ü n - G e l b (Helligkeitseinstellung der Felder wie bei 1: das Feld, welches dem Normalen bei maximalster Spaltöffnung dunkler erscheint, wird in seiner Helligkeit nicht verändert.)

Wird auch diese Gleichung angenommen, liegt progressive Rotgrünblindheit vor. Zur weiteren Bestimmung ihres Grades stellt man Gelb-Weiß ein usw. (s. S. 170 unter Prüfung der progressiven Rotgrünblindheit).

b) U n t e r s u c h u n g, o b B l a u g e l b b l i n d h e i t b e z w. „B l a u- (V i o l e t t-) B l i n d h e i t" (S. 239) v o r l i e g t. O b j e k t g r ö ß e am besten nicht unter 5—10 mm, auch bei normaler Sehschärfe; im Falle einer Blaublindheit sind kleinere Felder für den Patienten zu dunkel, z. T. ganz unsichtbar.

In Betracht kommen die Gleichungen G e l b - W e i ß, vor allem aber B l ä u l i c h g r ü n - B l a u (näheres s. S. 239, auch S. 125).

Die Einstellung G r ü n - B l a u ist für die Diagnose einer Blaugelbblindheit vorsichtig zu verwerten, sowohl in positivem Sinne, wenn die Gleichung angenommen wird, als vor allem in negativem, wenn sie abgelehnt wird. Zur Frühdiagnose erworbener Blaugelbblindheit ist das Perimeter vorzuziehen.

Die Schwierigkeiten der Grünblaugleichung sind z. T. technische. Die Farbentöne Blau-Grün-Violett sind in einigermaßen brauchbarer Reinheit mit gläsernen Filtern überhaupt schwer herzustellen. Es wäre die allerdings weniger haltbare Gelatine zu versuchen. Farbige Papiere oder Tuche aber lassen sich leicht

in dem gewünschten Farbenton finden. Man kann dann zur Herstellung der Gleichungen den Farbenkreisel anwenden, was allerdings etwas zeitraubend ist. Sonst muß man die einwandsfreien spektralen Lichter (von etwa 480 $\mu\mu$ Wellenlänge abwärts) anwenden, die jedoch z. B. bei Nernstlicht schon recht lichtschwach sind, sodaß man an den Spektralapparaten den betreffenden Spalt weiter, als für die Reinheit der Lichter wünschenswert ist, öffnen muß.

c) Falls die Annahme von Gleichungen zwischen sämtlichen farbigen Feldern des Apparates, auch zwischen Rot und Blau, eine totale Farbenblindheit (für die gewählte Versuchsanordnung) ergeben haben, kann es sich noch um angeborene oder erworbene Farbenblindheit handeln. Erstere ist schon wegen des Nystagmus und der anderen klinischen Begleiterscheinungen (S. 34) leicht kenntlich. Außerdem wird bei ihr Rot sehr dunkel, Blau sehr hell gesehen. Stellt man also die Rot-Blaugleichung für den angeboren Farbenblinden ein, so erscheint dem normalen (helladaptierten) Auge und dem erworben Farbenblinden das blaue Feld zu dunkel.

Für andere Apparate, welche eine größere Zahl von Farbentönen als Rot, Gelb, Grün und Blau einzustellen gestatten, ergibt sich leicht das erforderliche Untersuchungsverfahren, nach dem hier Angedeuteten und bei Beachtung des Verhaltens, das die Patienten bei den einzelnen Störungen gegenüber dem Spektrum zeigen,

Als Beispiel für einen vollkommeneren Apparat sei der von Hering vor längerer Zeit angegebene erwähnt:

Herings Apparat zur Untersuchung des Farbensinnes[1]).

Mit dem Heringschen Apparat lassen sich die eben skizzierten Gleichungen in vollkommenerer Weise ausführen. Er gestattet durch Mischung eine kontinuierliche Veränderung des Farbentones, die ja bei der Farbengleichungslampe nicht möglich ist, sondern hier durch einen Satz verschiedenfarbiger Gläser ersetzt werden muß. Auch eine Änderung der objektiven Sättigung der Farben kann vorgenommen werden. Vorzüge sind ferner die Objektgröße: das kreisförmige in zwei Hälften geteilte Gesichtsfeld kann unter einem Gesichtswinkel von über 6° gesehen werden. Auch stoßen die beiden Feldhälften dicht aneinander und sind nicht durch einen Steg getrennt.

Von den 6 Wänden eines kubischen Kästchens (Fig. 32) aus geschwärztem Messingblech tragen drei Wände rechteckige Öffnungen, welche durch auswechselbare farbige Gläser verschlossen sind (R, B, G). Im Innern des Kästchens wird durch eine Anordnung zweier Spiegelglasplatten (S und S_1) das farbige Licht der drei Wände nach einem Okularrohr O, durch das der Beobachter blickt, reflektiert. Die eine Hälfte des gesehenen runden Objektfeldes empfängt

[1]) Ausführlich beschrieben bei Hering, zur Diagnostik der Farbenblindheit. v. Graefes Arch. f. Ophth. XXXVI (I) S. 217.

nur von einer Wand G des Kästchens farbiges Licht (durch Reflexion an einer belegten Spiegelglasplatte S), die andere Hälfte empfängt von den beiden anderen Wänden B und R gleichzeitig farbiges Licht, weil die entsprechende reflektierende Glasplatte S_1 unbelegt ist. Hier kann also eine

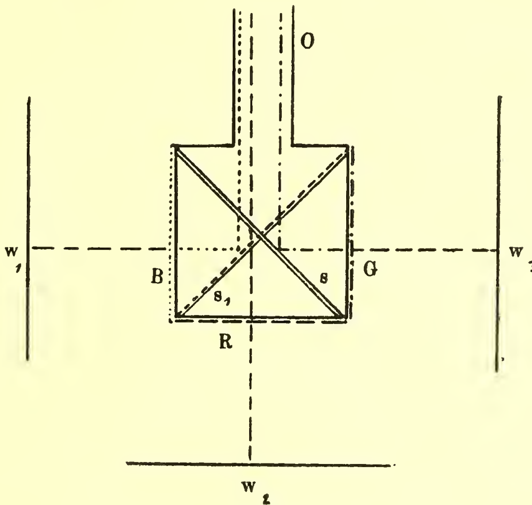


Fig. 32.
Hering's Apparat von vorn gesehen. W_1, W_2, W_3 Milchglasplatten, welche das Licht liefern. B blaue, R rote, G grüne Glasplatte, die das Licht entsprechend färben. S_1 unbelegte Spiegelglasplatte, durch die rotes Licht hindurchtritt und auf deren Vorderfläche blaues reflektiert wird. S belegte Spiegelplatte, die grünes Licht reflektiert. Durch das Okularrohr O sieht der Beobachter ein grünes Feld und ein Rot-Blau-Gemisch.

Mischung aus zwei Farben vorgenommen werden. Jede farbige Seite des kubischen Kästchens empfängt ihr Licht durch eine Milchglasplatte (W_1, W_2, W_3). Alle drei Platten sind durch besondere Schrauben drehbar, sodaß man ihnen eine verschiedene Neigung zur Richtung des einfallenden Lichtes geben und dadurch die Menge des in das Kästchen durch die farbigen Glasfilter eindringenden Lichtes verändern kann. Durch die eine Platte wird die Helligkeit der einen Hälfte des Objektfeldes verändert, nämlich derjenigen, welche nur von der einen farbigen Scheibe gespeist wird (W_3), durch die beiden anderen Platten (W_1 und W_3) wird das Mischungsverhältnis der beiden Farben, welche die andere Objektfeldhälfte versorgen, reguliert, d. h. also der Farbenton. Der ganze Apparat wird vor ein Fenster gestellt und empfängt sein Licht von dort. Das Objektfeld kann durch eine Irisblende verkleinert werden. Der Beobachter sieht von oben in das Okularrohr hinein.

Für den Gebrauch stellt man sich Gleichungen zwischen zwei Farbentönen her etwa nach Art derjenigen, wie sie für die Nagelsche Lampe beschrieben wurden. Der Farbenton der einen Hälfte des Objektfeldes wird immer, wie bei der Nagelschen Lampe, durch eine einfache Glasscheibe geliefert, der Ton der anderen Hälfte jedoch kann durch die Mischung zweier Gläserfarben variiert werden. Wünscht man Gleichungen mit Weiß, so entfernt man für die eine Objekthälfte einfach das farbige Glasfilter. Man kann dann,

ähnlich wie an der Nagelschen Lampe, Gleichungen zwischen Grün und Weiß, Gelb und Weiß usw. erhalten, mit dem Vorteil, daß der Ton der Vergleichsfarbe sich mit Hülfe der Mischvorrichtung verändern läßt.

Mit dem Heringschen Apparat kann daher bei angeborenen und erworbenen Dichromaten auch die neutrale Stelle (S. 42) bestimmt werden. Bei der Rotgrünblindheit (Protanopie, Deuteranopie und erworbene Rotgrünblindheit) benutzt man zur Mischung ein gelbgrünes und ein blaues Glas, während die andere Hälfte des Apparates farbloses Licht erhält.

Bei der Tritanopie, angeboren oder erworben, verwendet man zur Mischung gelbes und grünes Glas. Man kann sich z. B. bei der erworbenen Rotgrünblindheit überzeugen, daß die neutrale Stelle beträchtlich breit erscheint, weil die Farben sämtlich frühzeitig an Sättigung verlieren und man kann beobachten, wie allmählich mit zunehmender Farbensinnstörung die Sättigungsabnahme für die verschiedenen Lichter größer wird.

Auf die einzelnen Versuchsmöglichkeiten einzugehen, würde zu weit führen; an der Hand der vorher gegebenen Bemerkungen über diagnostische Gleichungen sowie über das Verhalten der Patienten bei den verschiedenen Farbensinnstörungen gegenüber spektralen Lichtern, wird man die verschiedenen Variationen leicht herausfinden können.

Technisch geht man beim Einstellen der Gleichungen am besten so vor, daß man zunächst die Gleichheit der Helligkeit (die durch die Schraube herbeigeführt wird, welche die Milchglasplatte W_3 für das durch ein Glas beleuchtete Feld dreht!) grob in dem Verhältnis einstellt, wie dem Normalen etwa die Felder gleich hell erscheinen. Dann läßt man den Patienten hineinblicken und reguliert für dessen Auge die Helligkeit. Weiter fragt man ihn, ob eine Differenz im Farbenton vorhanden ist, die man nötigenfalls durch die Drehungen an den beiden anderen die Mischung der Farben besorgenden Schrauben ausgleicht. Dann fragt man wieder nach der Helligkeit und reguliert diese und so abwechselnd, bis beide Felder farben- und hellgleich erscheinen. In der gleichen Weise verfährt man überhaupt beim Einstellen aller Mischungsgleichungen, auch spektraler.

Ein einfacherer, in seiner Anwendung daher auch beschränkterer Apparat ist neuerdings von Meissling (13) angegeben. Er gestattet auf einem Felde in ähnlicher Weise einen Farbenton durch Mischung zweier anderer herzustellen und die so gewonnene Farbe dann mit einem weißen Licht zu vergleichen. Nach der Beschreibung (der Apparat war mir nicht zugänglich) muß er für „Sättigungsgleichungen“ ganz empfehlenswert sein. Über seine Anwendungsausdehnung läßt sich aus dem Vorhergehenden das Notwendige leicht entnehmen.

c. Die Rayleighgleichung.

Die Verwendbarkeit der Gleichung für die Diagnostik.

Will man für die klinische Diagnostik spektrale Mischungsgleichungen überhaupt verwenden, so bedarf man zur Untersuchung vorwiegend nur solcher, die sich auf zwei bestimmte Spektralregionen beziehen, einmal auf der Strecke zwischen Rot bis Grün (etwa 670 $\mu\mu$ bis 540 $\mu\mu$), weil sich hier, am meisten merklich, die Veränderungen abspielen, welche bei der Rotgrünblindheit vor sich gehen, mag sie angeboren (also Protanopie und Deuteranopie) oder erworben (erworbene progressive Rotgrünblindheit) sein. Die zweite Strecke wäre die Gegend von Blaugrün bis Violett, also das andere Ende des Spektrums, weil sich hier die Tritanopie (Blaugelbblindheit) — angeboren oder erworben — am ehesten bemerkbar macht. Auf die letztere Einstellung kann jedoch verzichtet werden. Denn bei den Lichtquellen, die gewöhnlich zur Speisung der kleinen Spektralapparate dienen, sind die kurzwelligen, also blauen und violetten Lichter, schon für den Normalen recht lichtschwach. Da die Patienten diese Farben meist noch dunkler sehen, kann man Gleichungen in dieser Spektralregion bei schon etwas herabgesetztem Sehvermögen oft gar nicht mehr anwenden.

Gerade den wichtigen Spektralteil Rot-Gelbgrün umfaßt die Rayleighgleichung. In der Tat ist die Gleichung ein ganz vorzügliches Hülfsmittel zur Diagnostik nicht nur der angeborenen Farbensinnstörungen, für die sie ursprünglich nur bestimmt ist, sondern auch für die erworbenen. Sie sollte, wenn es die technischen Hülfsmittel erlauben, in jedem Falle angeschlossen werden bei dem das Sehvermögen nicht zu stark herabgesetzt ist (s. u.), besonders dort, wo man im Zweifel ist, ob eine erworbene Störung vorliegt oder eine angeborene, z. B. eine anomale Trichromasie. Das Anomaloskop (kleines Modell, beschrieben S. 70) gestattet die Gleichung in genügender Weise und stellt zur Zeit bei Berücksichtigung des Preises den zweckmäßigsten Spektralapparat für die klinische Diagnostik dar, wenn man sich überhaupt einen anschaffen will.

Mit Hülfe der Gleichung kann festgestellt werden:

1. (angeborene) Protanopie,
2. (angeborene) Deuteranopie,
3. erworbene progressive Rotgrünblindheit mit verschiedenen ihrer Grade (ev. atypische Formen),
4. die anomalen Trichromaten (Farbenschwachen)

α) Deuteranomalie,
β) Protanomalie,

5. sie bildet ein wichtiges Hülfsmittel für die Diagnose erworbener Blau-(violett-)Blindheit.

Nicht möglich ist mit ihr die Diagnose des dichromatischen Systems der Tritanopie, angeboren oder erworben, ferner der totalen Farbenblindheit. Die letztere wird leicht auf andere Weise diagnostiziert (Farbengleichungslampe usw.).

Gang der Untersuchung am Anomaloskop (vergl. Bemerkungen S. 71).

Objektgröße bei den Apparaten mit veränderlicher Blendenweite: Kleine Blende bis zu einem Sehvermögen von etwa $^1/_4$, dann mittlere Blende. Ist das Sehvermögen stärker als $^1/_{10}$—$^1/_{12}$ herabgesetzt, ist der Apparat nur noch ausnahmsweise verwendbar.

1. Einstellen der (Lithium-) Rot- (Natrium-) Gelb-Gleichung zur gröberen Orientierung. Die Schraube, welche das Rotgrüngemisch reguliert, wird so eingestellt, bis reines Rot eingestellt ist. Dann wird versucht, ob durch Änderung der Helligkeit des Gelb eine völlige Gleichung zwischen beiden erhalten werden kann.

Wird die Rotgelbgleichung angenommen, so handelt es sich entweder um angeborene Rotgrünblindheit (Deuteranopie oder Protanopie), erworbene Rotgrünblindheit, atypische Formen angeborener oder erworbener Farbenblindheit (S. 190) oder um totale Farbenblindheit.

Die letztere stellt man auf andere Weise fest (z. B. Rot-Blaugleichung usw. an der Farbengleichungslampe). Ob atypische Formen oder ob „typische" Rotgrünblindheit vorliegt, ergibt sich daraus, ob die (Natrium-) Gelb- (Thallium-) Grün-Gleichung abgelehnt oder angenommen wird. Die Unterscheidung zwischen angeborener und erworbener Rotgrünblindheit endlich ist bereits S. 163 beschrieben.

Wird die Rotgelbgleichung abgelehnt, so geht man folgendermaßen vor:

2. Die Helligkeit der unteren „gelben" Feldhälfte wird fest eingestellt auf die Zahl, welche für die Gleichung des Normalen notwendig ist (bei den neueren Apparaten 14; man kann auch vor jeder Untersuchung erst für sich selbst einstellen, vorausgesetzt, daß der Untersucher normalen Farbensinn hat). Man läßt erst die Einstellung des Normalen beurteilen, ob sie angenommen oder abgelehnt wird. Dann wird die linke Schraube, welche das Rotgrüngemisch reguliert, entweder vom Untersucher gedreht, oder man läßt den Patienten selbst einstellen.

Die Einstellung des Normalen schwankt, wie nochmals erwähnt sei, innerhalb 5 bis höchstens 8 Teilstrichen und ist scharf begrenzt, d. h. Veränderungen des Rotgrüngemisches bezw. Drehungen der linken Schraube um 1 Teilstrich nach beiden Seiten werden bereits als verschiedenfarbig erkannt (vergl. S. 15 u. 74).

Ist das Sehvermögen herabgesetzt auf etwa $^1/_6$, so kann die „Schärfe" der Normaleneinstellung um weitere 1—2 Teilstriche abnehmen.

a) Die Gleichung des Normalen wird abgelehnt, die Einstellung des Rotgrüngemisches entspricht der des Normalen nicht; es wird

α) über 5 Teilstriche mehr Grün hinzugefügt, sodaß dem Normalen, der nach dem Patienten hineinsieht, die obere Hälfte zu grün erscheint: es liegt Deuteranomalie (angeborene Farbenschwäche) vor;

β) Es wird über 5 Teilstriche mehr Rot hinzugefügt, sodaß dem Normalen die obere Hälfte zu rot erscheint: es liegt entweder Protanomalie (angeborene Farbenschwäche) oder erworbene Blaublindheit vor (S. 133 u. 241).

Wenn auch die überwiegende Mehrzahl erworben Blaublinder sich so verhält, so gibt es doch auch solche, welche die Gleichung des Normalen annehmen. Die Rayleighgleichung ist also nur ein Hülfsmittel, keine entscheidende Prüfung. Die Diagnose der Blaublindheit und die Unterscheidung von der Protanomalie erfolgt daher auf andere Weise (Gleichungslampe, Prüfung auf Skotome am Perimeter).

b) Die Einstellung des Rotgrüngemisches entspricht der Gleichung des Normalen, diese wird also angenommen. Nunmehr stellt man die „Schärfe" der Einstellung fest. Man macht erst das obere Feld für den Patienten zu rot und mischt so lange Grün hinzu, bis beide gleich erscheinen (z. B. sei das bei dem Teilstrich 60 der Fall). Dann macht man das obere Feld zu grün und mischt umgekehrt mehr Rot hinzu, bis beide Hälften wieder gleich erscheinen (das sei z. B. bei Teilstrich 40 der Fall). Auf diese Weise „engt" man die Gleichung von beiden Seiten ein (die Einstellungsbreite würde bei dem gewählten Beispiel 40—60, also 20 Teilstriche betragen gegenüber etwa 2 normaler Weise).

α) Die Einstellung des Rotgrüngemisches ist scharf, wie beim Normalen. Dann kann noch eine angeborene Farbenschwäche vorliegen. Man wählt daher die S. 75 angegebenen Einstellungen 3a und 3b. Werden auch diese abgelehnt, so ist keine Abweichung vom normalen Farbensinn nachweisbar.

β) Die Einstellung ist unscharf, verbreitert, dann liegt fast stets progressive Rotgrünblindheit vor, besonders dann, wenn die Verbreiterung 6—10 Teilstriche und darüber beträgt (ihre quantitative Bestimmung mit der Gleichung s. S. 176).

Bei angeborener Farbenschwäche, bei welcher ja die Normalengleichung ebenfalls angenommen werden kann, ist im allgemeinen die Empfindlichkeit für Helligkeiten so groß, daß eine so weitgehende Veränderung des Rotgrüngemisches bei gleichbleibender Helligkeit das Gelb nicht anerkannt wird.

Schwierig kann die Unterscheidung werden, wenn die Einstellung des Rotgrüngemisches so unscharf ist, daß schon zwischen reinem (Thallium-) Grün und dem Gelb eine Gleichung angenommen wird, die „Einstellungsbreite" an der linken Schraube etwa 0—60 beträgt. Die extrem-anomalen Trichromaten verhalten sich zuweilen sehr ähnlich. Aber sie sind im allgemeinen wieder viel anspruchsvoller bezüglich Helligkeitsdifferenzen der Felder, sehen auf den ersten Blick die Feldhälften gleich, verwerfen aber im nächsten die Einstellung wieder, verlangen auch Änderungen der Helligkeit (rechte Schraube!), was der erworben Farbenblinde nicht zu tun pflegt.

Weitere Untersuchungen sind stets notwendig und ergeben die Unterscheidung zwischen erworbener und angeborener Farbensinnstörung: bei der ersteren frühzeitige Abnahme der Sättigung der Farben (s. bei Nagelscher Lampe S. 366), sowie meist partielles Auftreten im Gesichtsfeld!

Man lasse die Beobachter bei diesen Gleichungen ruhig mehrere Sekunden hineinblicken, vermeide zu kurze Beobachtungszeit, aber vor allem auch zu lange, etwa mehrere Minuten.

d. Die Wahlproben.

Für die Untersuchung kommen in Betracht die bekannten Holmgreenschen Wollproben[1]). Es ist kein Grund vorhanden, sie durch andere Objekte, farbige Pulver in Gläsern (Cohn) usw. zu ersetzen.

Für manche Zwecke sind auch größere farbige Papiere sehr brauchbar und ausreichend. Es ist gut, eine Anzahl Bogen in verschiedenen Farbentönen vorrätig zu haben[2]). Sie sind nebenbei viel billiger als die Wollproben.

Die Wahlproben wurden früher sehr häufig zur Diagnose angeborener und erworbener Farbenblindheit angewendet. Sie haben aber an Bedeutung verloren, seitdem mehr und mehr die Forderung erhoben wurde, möglichst foveal zu untersuchen. Heute kommen für die Praxis die Wahlproben für die Diagnostik im allgemeinen überhaupt kaum in Betracht und finden nur noch in einigen Spezialfällen Anwendung; nämlich

1. überall dort, wo eine ausgedehnte Störung des Farbensinnes im größten Teil des erhaltenen Gesichtsfeldes besteht, und gleichzeitig die Sehschärfe hochgradig herabgesetzt ist, so daß das Hinein-

---

[1]) Am besten im fertigen Sortiment zu beziehen von Oldbergs Nachfolger Lindberg, Torsäker in Schweden (nach Landolt, Graefe-Saemisch, Handbuch, II. Aufl. IV, S. 400).

[2]) Zu empfehlen sind die Heringschen Papiere, s. Fußnote S. 361.

blicken in Apparate mit Gleichungen auf Schwierigkeiten stoßen würde.

Das kann sowohl bei erworbener Rotgrünblindheit im vorgerückten Stadium (etwa Sehnervenatrophien) geschehen, wie auch bei erworbener Blaugelbblindheit (ausgedehnte Netzhautablösungen). Die Proben, Wollbündel oder Papierscheiben, werden von den Patienten dann in der Regel entsprechend ihrem Zweifarbensehen sortiert in zwei Gruppen, von denen sie die eine gelblich, die andere bläulich (Rotgrünblindheit), oder die eine Gruppe rot, die andere grün sehen (Blaugelbblindheit).

2. Die Wollprobenuntersuchung ist empfehlenswert, wenn man zerebrale Störungen wie Aphasie, Alexie für Farben und amnestische Farbenblindheit untersuchen und vor allem diese Formen möglichst von einander trennen will. Man umgeht dann auf einfache Weise nicht nur die Benennungen für Farben, sondern vermeidet dabei überhaupt überflüssiges Sprechen bezw. Antworten, während z. B. bei Einstellung von Gleichungen, bei welchen ja auch die Benennung der Farben vermieden wird, stets Fragen gestellt werden müssen, ob der Patient die Felder gleich sieht oder nicht. Ein Vorzug der Methode gerade bei vorhandenen psychischen Störungen ist noch, daß der Patient während der Untersuchung aktiv beschäftigt ist und somit seine Aufmerksamkeit besser konzentriert, als wenn sich die ganze Untersuchung rein inquisitorisch abspielt (Landolt).

Näheres über diese Formen s. S. 216 ff.

3. Besteht totale Farbenblindheit, so müssen die einzelnen Formen nach ihrer Helligkeitsverteilung im Spektrum unterschieden werden. Hierbei besteht nicht nur ein grundlegender Unterschied zwischen der „typischen“ angeborenen und der erworbenen totalen Farbenblindheit, sondern auch letztere läßt sich in mehrere Formen zerlegen (S. 195).

Eine genaue Bestimmung der Form ist allerdings nur mit Hülfe quantitativer Prüfung mit Spektrallichtern möglich, aber einen Anhaltspunkt bekommt man meist schon dann, wenn man verschiedenfarbige Wollbündel so auswählt, daß sie die Reihe der spektralen Lichter repräsentieren, das Spektrum gleichsam ersetzen. Der Patient wird nun aufgefordert, sie in Reihe nach ihrer Helligkeit zu sortieren — als Totalfarbenblinder sieht er ja alle gleichmäßig farblos, nur verschieden hell. Man bekommt auf diese Weise meist heraus, daß bei der typischen angeborenen Farbenblindheit die hellste Stelle des Spektrums im Grün liegt, bei der erworbenen dagegen etwa im Gelb. In gleicher Weise kann man auch einen Satz verschiedenfarbiger Scheiben der Heringschen Papiere sortieren lassen.

Genauere Untersuchung der Helligkeitsverteilung bei der totalen Farbenblindheit, auch ohne quantitative Spektraluntersuchung, läßt sich ermöglichen mit Hülfe des Farbenkreisels (S. 378).

Verfügt man über die Möglichkeit, ein objektives Spektrum (S. nächste Seite) entwerfen zu können, so kann man sich hier die Stelle von dem Patienten angeben lassen, die am hellsten erscheint.

Wann kann man den Farbensinn eines Patienten für normal erklären?

1. Bei Benennenlassen der farbigen Objekte am Perimeter (also Farbengesichtsfeld, s. später) darf sich keine Abweichung ergeben weder a) in der äußersten Peripherie bei Untersuchung mit großen Quadraten (20 mm), noch b) bei Absuchung der Umgebung des Fixierpunktes mit 1 mm großen wenig gesättigten Farbenobjekten.

2. Die Untersuchung mit pseudoisochromatischen Gleichungen darf auch bei kleinem Gesichtswinkel keine Abweichung vom Normalen, d. h. keine Gleichungen, ergeben.

3. Die Rayleighgleichung des Normalen muß vom Patienten angenommen werden, die Einstellung des Rotgrüngemisches muß „scharf" begrenzt sein (s. S. 372); es darf nicht möglich sein, eine für den Normalen beträchtliche Farbendifferenz beider Felder (das eine Feld zu rot oder zu grün) dadurch zum Schwinden zu bringen, daß die Helligkeit der Felder verändert wird (die Einstellungen 3a und 3b, S. 75).

Sind diese Bedingungen erfüllt, so „sind zur Zeit bei den betreffenden Patienten keine Abweichungen vom normalen Farbensinn nachweisbar".

Das schließt natürlich nicht aus, daß bei noch feineren Untersuchungsmethoden nicht doch Herabsetzungen des Farbensinnes gegenüber dem Normalen nachweisbar sind. Doch kommt man hier bereits in das Gebiet der physiologischen individuellen Verschiedenheiten, sodaß man sich klinisch mit den obigen Feststellungen begnügen kann.

3. Eingehendere Untersuchung erworbener Farbensinnstörungen.

Mit Hülfe der angegebenen klinischen Methoden, einschließlich der später zu besprechenden Perimeteruntersuchungen, hat man in der Hauptsache meist festgestellt, ob angeborene oder erworbene Farbensinnstörung vorliegt, und um welche Form es sich handelt. Immerhin bleiben eine Anzahl Fälle übrig, wo man mit einfacher klinischer Untersuchung noch keine genügende Gewißheit erhalten kann, besonders wenn es sich um wissenschaftliche Zwecke handelt.

Daher sind wenigstens für klinische Institute eine Reihe von kostspieligeren Hülfsmitteln erforderlich, von denen im Folgenden einige angegeben und besprochen werden sollen.

a) Das objektive Spektrum.

Will man ein objektives Spektrum auf eine Wand entwerfen bezw. einzelne Teile daraus isolieren, so empfiehlt sich wegen der größeren Dispersion die Verwendung eines Hohlprismas, das z. B. mit Schwefelkohlenstoff gefüllt ist (vor Licht schützen, wenn außer Gebrauch). Die Reinheit der Lichter hängt von der Weite des Spaltes ab, welcher das Licht liefert[1]). Dieser muß möglichst eng sein, allerdings wird durch die gleichzeitig abnehmende Lichtstärke bald eine Grenze gesetzt. Unreinheiten der Lichter entstehen auch, wenn die Prismenflächen schmutzig sind; diese müssen daher stets sorgfältig sauber gehalten werden.

Bei der Erzeugung spektraler Lichter wird das Dispersionsspektrum gewöhnlich dem Gitterspektrum vorgezogen. Ersteres ist im ganzen lichtstärker, wenn auch das Gitterspektrum die kurzwelligen (blauen usw.) Lichter *relativ* heller erzeugt (näheres s. *Nagel* 16).

Das objektive Spektrum dient vor allem dazu, isolierte spektrale Lichter oder auch größere Teile des Spektrums vom Patienten benennen zu lassen, ferner zur Bestimmung der hellsten Stelle im Spektrum (von Wichtigkeit z. B. bei der totalen Farbenblindheit, s. o.), auch zur Feststellung der Lage der neutralen Stelle bei dichromatischen Farbensystemen und von etwaigen Verkürzungen an den Enden des Spektrums (z. B. bei der erworbenen Tritanopie).

Man fängt entweder das ganze spektrale Band auf einen weißen Schirm auf oder hält an einem Draht weiße Papierscheibchen in den Strahlenbereich und fängt sich so die gewünschten Lichter heraus.

Die Feststellung von *Verkürzungen am Spektrum* kann von Wichtigkeit und Interesse sein. Hier kommt zunächst die angeborene Protanopie mit der typischen Verkürzung am roten Ende in Betracht, deren Grad von der Lichtstärke des Spektrums abhängig ist. Die gleiche Verkürzung bieten auch diejenigen erworbenen Farbensinnstörungen dar, die sich auf dem Boden einer angeborenen Protanopie entwickelt haben; es kann dies sowohl eine Blaugelbblindheit sein, die — mehr oder weniger vollkommen — die Protanopie zur totalen Farbenblindheit ergänzt (S. 197), wie auch eine progressive Rotgrünblindheit mit ihrem Endausgang, der totalen Farbenblindheit (S. 186). Umgekehrt findet sich eine beträchtliche Verkürzung des Spektrums am anderen, violetten Ende in erster Linie, bei dem Symptomenkomplex der erworbenen Blaublindheit. Sie ist jedoch auch bei

---

[1]) Die Kosten für Prisma und Spalteinrichtung dürften sich auf rund 30—40 M. belaufen.

der Blaublindheit infolge Gelbfärbung der brechenden Medien vorhanden, und sie läßt sich fast regelmäßig bei reinen Störungen der Dunkeladaptation (Hemeralopie) beobachten, sodaß ihr allein keine bestimmte diagnostische Bedeutung zukommen kann, sondern nur im Verein mit anderen Prüfungsmethoden.

Da überhaupt der Adaptationszustand des Beobachters einen wesentlichen Einfluß auf die Länge des Spektrums am violetten Ende hat, ist jeder Befund mit Vorsicht zu verwerten.

Weniger deutliche Verkürzungen an beiden Enden des Spektrums, dort, wo es ohnehin nicht sehr lichtstark ist, werden bei abnehmenden Funktionen des Sehorganes beobachtet, so in späteren Stadien der progressiven Rotgrünblindheit bezw. der totalen Farbenblindheit.

In ähnlicher Weise kann auch das subjektive Spektrum verwendet werden. Hier wird das spektrale Band nicht auf einen Schirm aufgefangen, sondern der Beobachter blickt durch einen Okularspalt in eine Röhre hinein. Das geschieht z. B. bei den gebräuchlichen kleinen Spektroskopen, die aber vor dem objektiven Spektrum kaum einen Vorzug bei der Untersuchung haben.

Am besten ist es, wenn das Spektrum gewisse für den Beobachter sichtbare Markierungen besitzt. Hierzu kann man entweder die Frauenhoferschen Linien, wenn sie sichtbar sind, verwenden, oder eine gleichzeitig im Spektroskop sichtbare graduierte Skala oder auch verschiebliche, auf bestimmte Stellen des Spektrums einstellbare Marken (Landolt 10).

Das Einstellen der verschiedenen isolierten Spektrallichter gestattet übrigens auch das größere Modell des Anomaloskopes); man braucht an ihm nur den Doppelspalt verdecken und erhält dann ein halbkreisförmiges Feld, daß man nacheinander mit den verschiedenen Spektrallichtern beschicken kann.

b) Der Farbenkreisel.

Der Farbenkreisel eignet sich für schnelle klinische Diagnostik nicht sehr. Er ist viel zu unhandlich, und die mit ihm vorzunehmenden Einstellungen sind zu zeitraubend, da er zur Änderung der Farben, Sättigung und Helligkeit stets angehalten und dann von neuem in Bewegung gesetzt werden muß[1]). Daher wird er im allgemeinen mehr für wissenschaftliche Untersuchungen verwendet. Hier ist er ein recht wertvolles Hülfsmittel, da er einen Spektralfarbenmischapparat ersetzen muß.

Der Farbenkreisel gestattet nämlich nicht nur zwei dicht aneinanderstoßende Farbenfelder zu vergleichen, sondern auch beide in Farbenton, Helligkeit und Sättigung meßbar zu verändern,

[1]) Es gibt auch Kreisel für Motorbetrieb, bei denen die Sektoren während des Ganges verstellbar sind (Marbe, Zentralbl. f. Physiologie 1894. No. 25)

nur handelt es sich dabei eben nicht um homogene Lichter, sondern um die immer mehr oder weniger unreinen Pigmentfarben.

Bei der Untersuchung geht man so vor, daß man eine große Scheibe aus zwei (oder auch mehr) verschiedenfarbigen Sektoren zusammensetzt, darüber eine kleinere Scheibe, ebenfalls aus mehreren verschiedenfarbigen Sektoren. Bei der Rotation überragt die große Scheibe die kleine und man läßt Rand und Mittelstück miteinander vergleichen (bezw. man schneidet durch ein vorgesetztes Diaphragma in Gestalt eines durchlöcherten Schirmes einen Teil der Randpartie des Kreisels in gewünschter Feldgröße aus. Dabei darf der Schirm aber keinen Schatten auf die rotierende Kreiselscheibe werfen). Jede Sättigungsabstufung erzeugt man durch Hinzusetzen von weißen Sektoren verschiedener Größe, jede Helligkeitsabstufung durch Hinzufügen schwarzer Sektoren (wodurch freilich gleichzeitig die Farben ebenfalls an Sättigung einbüßen). Die Größe der Sektoren wird nach ihrem Winkel gemessen. Helligkeits- und Farbentondifferenzen zwischen beiden Scheiben werden abwechselnd ausgeglichen (siehe auch bei spektralen Mischungsgleichungen S. 383).

Der Farbenkreisel läßt sich in vielfacher Weise verwenden. Hauptsächlich dient er bei den erworbenen Farbensinnstörungen dazu

a) dichromatische Farbensysteme zu untersuchen. Man kann feststellen, ob mit Hülfe einer Zweifarbenmischung, z. B. Rot und Blau mit allen anderen Farben, eine Gleichung erhalten werden kann und in welchem Verhältnis dazu Rot und Blau gemischt werden muß. Ferner kann die Länge der „Endstrecken" bestimmt werden und bei welcher Farbe die neutrale Stelle sich befindet.

Hat man z. B. Verdacht auf Blaugelbblindheit (Tritanopie) (s. S. 127), so kann man Gleichungen zwischen Grünblau und Violett herstellen, besser als mit Hülfe farbiger Lichtfilter. Außerdem kann man durch Mischung von nur zwei Farben, Rot und Blau, auf der einen Scheibe Gleichungen mit sämtlichen Farbentönen erhalten, die man sich auf der anderen Scheibe herstellen kann. Helligkeitsdifferenzen werden durch Hinzufügen eines schwarzen Sektors ausgeglichen. Auch die neutrale Stelle läßt sich meist zeigen, wenn man auf der einen Scheibe Grau (aus Schwarz und Weiß), auf der anderen sich den betreffenden gelben Farbenton mischt.

Bei Rotgrünblindheit erhält man leicht die gewünschten Gleichungen zwischen Rot, Gelb bezw. Grün. Durch Mischung mit einem gelben und blauen, bezw. roten und blauen Sektor bekommt man Gleichungen mit jedem beliebigen farbigen Papier (Helligkeit ausgleichen durch Schwarz!) und kann so das dichromatische Sehen des Patienten nachweisen.

b) Eine totale Farbenblindheit untersucht man am einfachsten, wenn man für die eine Scheibe die verschieden möglichst satten Farbentöne von Rot bis Blau und Violett wählt,

auf der anderen nur Schwarz und Weiß mischt. Gleichzeitig ersieht man aus der erforderlichen Veränderung der Größe der schwarz-weißen Sektoren die Helligkeitsverteilung, in der die Patienten die einzelnen Farben sehen. Je größer der schwarze Sektor gewählt werden muß, desto dunkler sieht der Patient die betreffende Farbe (die Sektorgröße läßt sich leicht in Graden abmessen; s. Beispiel S. 88).

c) Die allmähliche Abnahme der Sättigung, welche die Farben mit der zunehmenden Farbensinnstörung, besonders bei der progressiven Rotgrünblindheit, erfahren, kann man am Farbenkreisel leicht und meßbar feststellen.

Man wählt eine Scheibe von dem betreffenden Farbenton, z. B. Grün, setzt einen Sektor eines ganz gleichhellen Grau hinzu; die zweite Vergleichsscheibe besteht nur aus dem hellgleichen Grau (das man sich wieder durch Mischung von schwarzen und weißen Sektoren herstellen kann). Auch der Normale nimmt zwischen beiden Kreiselscheiben eine Gleichung an, selbst wenn der einen ein wenig Grün zugefügt worden ist; ganz geringe Grünzusätze sind eben nicht merklich. Mit zunehmender Farbensinnstörung kann man immer größere Sektoren Grün hinzufügen, ohne daß die Gleichung gestört wird, bis schließlich die eine Scheibe rein Grün gemacht worden ist; dann hat die Farbe ihre Sättigung für den Patienten unter den gewählten Beobachtungsbedingungen sehr hochgradig verloren. Daraus ergibt sich eine ganz brauchbare quantitative Untersuchungsmethode für die progressive Rotgrünblindheit (s. auch S. 175).

Miéville (5) u. a. schlugen vor, die Farbenempfindung des Patienten durch einen Bruch auszudrücken, in dessen Zähler die Winkelgröße des farbigen Sektors steht, die dem Normalen zur Gleichung mit Grau zugesetzt werden kann, im Nenner dagegen die Sektorgröße des Patienten.[1] Der Vorschlag ist annehmbar, wenn man in dem Bruch weiter nichts sieht, als eben zwei Zahlen, welche die Angaben des Normalen und des Patienten, unter denselben Beobachtungsbedingungen geprüft, wiedergeben. Dagegen ist nicht anzuraten, daraus eine Farbensinnstörung von $^1/_2$, $^1/_4$ usw. zu konstruieren.

Man kann auch nur eine Scheibe verwenden, wenn man nämlich farbige Ringsektoren auf gleichhellem grauen Grunde verwendet. Derartige quantitative Bestimmungen hat zuerst Landolt (2) angegeben. Pflüger (4) u. a. gaben auf einer Scheibe Ringsektoren von verschiedener Größe an. Bei der Rotation entstanden dann konzentrische Ringe von verschiedener Sättigung des betreffenden Farbentones. Der Patient hatte nur die Anzahl der für ihn sichtbaren Farbenringe zu zählen. Bei derartigen Proben läßt sich jedoch die Helligkeitsdifferenz zwischen Farbe und Grund nicht mehr ausgleichen, sondern ist für alle Beobachter feststehend. Das hat große Bedenken, weil sich nicht alle in dem gleichen Adaptationszustande befinden. So kann es bei der Pflügerschen Modifikation kommen, daß der Beobachter infolge Helligkeitsunterschiede eine andere Ringzahl angibt, als er wirklich nur durch den Farbenton unterscheidet (vgl. Landolt 10)

c) Binokulare Farbengleichungen.

Von den bisher beschriebenen monokularen pseudoisochromatischen Gleichungen müssen die binokularen streng unterschieden werden. Im ersteren Falle werden ausschließlich zwei Netzhautstellen ein und desselben Auges untersucht, von denen wir voraussetzen, daß sie in gleichem Grade erkrankt und farbenblind sind. Bei der binokularen Gleichung werden zwei korrespondierende Netzhautstellen beider Augen geprüft, von denen nur eine die Farbensinnstörung, die andere dagegen ganz normalen Farbensinn besitzt.

Die Methode ist demnach nur in besonderen Fällen anwendbar, dann, wenn nur ein Auge eine Farbensinnstörung darbietet und dabei der größte Teil des Gesichtsfeldes, zum wenigsten die zentralen Teile betroffen sind. In derartigen Fällen ist aber die binokulare Farbengleichung eine außerordentlich elegante und bequeme Methode, sich sicheren Aufschluß zu verschaffen, wie das kranke Auge die Farben sieht, besonders dann, wenn eine beginnende Farbensinnstörung vorliegt. Da immerhin eine besondere technische Einrichtung notwendig ist, wird die Methode für genauere und wissenschaftliche Untersuchungen vorbehalten bleiben, ist aber hier sehr empfehlenswert.

Die von Hering für einen von ihm untersuchten Fall ausführlich wiedergegebene Versuchsanordnung beruht darauf, daß ähnlich wie im Stereoskop die beiden Augen zwei nebeneinanderliegende Farbenfelder erblicken, von denen das eine nur vom rechten, das andere nur vom linken gesehen wird. Die Felder bestehen aus je einer in ihrer Zusammensetzung veränderlichen Kreiselscheibe, welche durch je ein Loch in einem Diaphragma sichtbar wird. Näheres siehe bei Hering (6).

d) Spektralapparate.

Weitere Spektralapparate außer dem Anomaloskop oder solchen, welche die Rayleighgleichung einzustellen gestatten, bieten keine wesentlichen Vorteile mehr für die Untersuchung.

Höchstens kommen noch solche in Betracht, bei welchen es möglich ist, zwei verschiedene homogene Lichter mit einander zu vergleichen, um zu sehen, inwieweit der Patient nicht mehr in der Lage ist, Lichter von verschiedener Wellenlänge farbig zu unterscheiden.

Von derartigen Apparaten sei zunächst erwähnt das große Modell des Anomaloskops. Stellt man nämlich bei ihm den oberen Spalt z. B. bis zum Anschlag auf 100, so erhält man pseudoisochromatische Gleichungen zwischen zwei homogenen Lichtern durch das ganze Spektrum. Aber es sind dabei je zwei Lichter stets zusammengekoppelt da mit Veränderung des einen sich das andere mitverschiebt (die Wellenlängendifferenz zwischen beiden beträgt,

wenn die untere Hälfte Rot von 700 $\mu\mu$ zeigt, etwa 90 $\mu\mu$, nimmt nach dem blauen Ende zu allmählich ab und ist bei 500 $\mu\mu$ noch ungefähr 25 $\mu\mu$ groß). Wenn auch die Helligkeit des einen Feldes reguliert werden kann, so ist doch wegen der unveränderlichen Wellenlängendifferenz die Anwendungsmöglichkeit recht beschränkt.

Weitere Spektroskope, welche erlauben, zwei Spektral-Lichter mit einander zu vergleichen, haben früher Hirschberg (3) und andere konstruiert.

Der Rosesche Farbenmesser wurde früher mehrfach zur Untersuchung von Farbensinnstörungen angewendet und soll deswegen hier genannt werden. Er eignet sich jedoch zur Diagnostik erworbener Farbensinnstörungen nicht.

Bei dem Apparat werden die bei Zirkumpolarisation durch den Bergkrystall entstehenden Farben verwendet, die durch Nikolsche Prismen variiert werden können. Es sind in dem ziemlich kleinen Gesichtsfeld mit Hülfe eines doppeltbrechenden Prismas zwei Farben sichtbar, die komplementär gefärbt sind und immer gleichzeitig ihren Farbenton ändern, wenn man Variationen wünscht. Daraus ergibt sich ohne weiteres die beschränkte Verwendungsmöglichkeit.

Der Chibretsche Apparat ist bereits S. 80 erwähnt und ebenfalls für die Untersuchung weniger geeignet.

Zeemann (17) hat in letzter Zeit eine einfache Versuchsanordnung beschrieben, welche ohne erhebliche Unkosten spektrale Lichtmischungen und Gleichungen in ziemlichem Umfange gestattet.

e) Die Bestimmung der Aichwerte für dichromatische Systeme.

Die Aichung (vergl. S. 35) kann in zweifelhaften Fällen als letzte Instanz betrachtet werden. Gelingt es, Gleichungen zwischen einem Zweifarbengemisch und der ganzen Reihe der spektralen Lichter zu erhalten, so ist in manchen Fällen z. B. bei der erworbenen Blaugelbblindheit überhaupt erst damit eine Reduktion des normalen Farbensehens auf ein dichromatisches Farbensystem festgestellt. Bei solchen dichromatischen Systemen stellt die Aichung dann ihre quantitative Analyse dar und aus der gewonnenen Zahlenreihe kann man, wenn es nicht schon vorher gelang, die Art des vorliegenden Systems stets ohne weiteres entnehmen.

Zu der Ausführung sind allerdings größere Spektralapparate notwendig, die im allgemeinen nur in physiologischen Instituten zu finden sind. Ihre Beschreibung kann für die vorliegenden Zwecke umso eher unterbleiben, als die Konstruktion jedes Apparates eine durchaus individuelle ist. Jedenfalls ist eine Versuchsanordnung erforderlich, welche erlaubt, Gleichungen herzustellen zwischen einem meßbar veränderlichen Gemisch aus zwei Spektrallichtern, die den beiden „Endstrecken" des Dichromatenspektrums angehören, und allen den verschiedenen homogenen Spektrallichtern andererseits. Daß auch die Intensität der Lichter muß meßbar verändert werden können, braucht kaum betont zu werden.

Die Aichung gibt immer nur die Verhältnisse für ein bestimmtes Spektrum wieder, und das Ergebnis ist von dessen Dispersion abhängig[1]).

[1]) Die Aichung ist durchaus nicht die einzige Möglichkeit, eingehendere Untersuchungen mit spektralen Mischungsgleichungen an dichromatischen Systemen vorzunehmen (vgl. z. B. v. Brücke und Inouye 18).

Das Vorgehen bei der Aichung gestaltet sich bei der erworbenen Farbenblindheit z. T. etwas anders als bei der angeborenen.

Die allgemeinen Regeln bezüglich Einhaltung möglichster Helladaptation gelten auch hier, also wenigstens Vornahme im unverdunkelten Zimmer. Man wird es aus demselben Grunde vermeiden, auch bei erworbener Farbenblindheit die Größe des Objektfeldes einen Durchmesser von 2^0 erheblich übersteigen zu lassen. Die Intensität der verwendeten Lichter soll ebenfalls nicht zu gering sein, allerdings wird hier gewöhnlich nach oben hin bald eine Grenze gesetzt wegen der mit der Spaltbreite zunehmenden Unreinheit der Spektrallichter (an Apparaten, wie am Helmholtzschen Spektralmischapparat u. ähnl., sollte die Spaltbreite 100 nicht erheblich überschritten werden).

Nicht alle Fälle eignen sich zur Aichung, die Herabsetzung der Sehschärfe macht sich in verschiedener Hinsicht als störend bemerkbar. Ein Sehvermögen von $^1/_6$ dürfte wohl etwa die Grenze sein, bei der sich eine so mühsame Untersuchung, wie die Aichung noch lohnt (bei der erworbenen Rotgrünblindheit findet sich meist erst bei $^1/_6$ das Stadium, in dem für die in Frage kommende Versuchsanordnung das dichromatische System erreicht ist).

Gang der Untersuchung: Die Gradeinteilung, welche die Apparate tragen, soll vor jeder Untersuchung „geaicht" werden, d. h. es soll festgestellt werden, welchen Wellenlängen der homogenen Lichter die Gradeinteilung des Apparates entspricht. Hierzu verwendet man das Licht, welches die Salze einiger Elemente (Lithium, Natrium, Thallium, Strontium u.a.) ergeben[1]). Die Skala, welche die Gradeinteilung trägt, wird solange verschoben, bis die leuchtenden und markanten Linien der Elemente im Okularspalt sichtbar sind, wo sie mit Hülfe eines vorgesetzten oder vorgehaltenen Konvexglases betrachtet werden. Sieht man z. B. in der Mitte des Okularspaltes die Lithiumlinie, wenn die Skala, welche das Spektrum verschiebt, auf 55 steht, so entspricht dem Skalenteil 55 ein homogenes Licht von 670,8 $\mu\mu$ Wellenlänge. So bestimmt man über das Spektrum mehrere feste Punkte. Die dazwischenliegenden Wellenlängen findet man durch Rechnung. (Näheres s. Nagel, in Tigerstedts Handbuch d. physiol. Methodik S. 59). Gewöhnlich ist für die Apparate bereits eine Tabelle ausgerechnet, wodurch das Verfahren sehr vereinfacht wird.)

Die Untersuchung setzt sich nun aus einer Reihe von Einzelbestimmungen bezw. Gleichungen zusammen, zwischen denen am besten jedes Mal eine kleine Pause gemacht wird, während welcher der Patient nicht die Augen schließen, sondern etwa zum Fenster hinausblicken soll (Adaptation!). Als Mischlichter verwendet man z. B. ein Rot von 670—650 $\mu\mu$ Wellenlänge und ein Blau von etwa 450 $\mu\mu$, welche für alle dichromatischen Systeme passen. Sie dürfen natürlich während der ganzen Untersuchung nicht geändert werden, sondern lediglich ihr Mischungsverhältnis und ihre Gesamthelligkeit; die Berechnung hierfür hängt von der Art des Apparates ab.

Während die eine Hälfte des Objektfeldes nun von dieser Rotblaumischung erhellt wird, stellt man in die andere nacheinander homogene Lichter ein, etwa 12—18 über das Spektrum verteilt, je nachdem man mehr oder weniger genau prüfen will (auch die ev. Ermüdung der Patienten ist für die Zahl der Einzelbestimmungen von Einfluß, man muß zuweilen mit ihnen sehr sparsam um-

[1]) Man kann sich, während man beobachtet, von einem anderen einfach Lithiumkarbonat, Kochsalz, Thalliumchlorid usw. in eine Gas- oder Spiritusflamme mit einem Spatel hineinschütten lassen, sodaß die Flamme farbig aufleuchtet.

gehen). Auf alle Fälle empfiehlt es sich, auf der wichtigsten Strecke von etwa 610—560 $\mu\mu$ häufigere Bestimmungen vorzunehmen, sodaß etwa die verschiedenen homogenen Lichter immer um 10 $\mu\mu$ auseinanderliegen. Die Intensität dieser homogenen Lichter bezw. die Spaltweite, welche sie beeinflußt, wird am besten nicht verändert (sondern nur die des Rotblaugemisches).

Man geht nun ähnlich vor wie bei den angeborenen dichromatischen Farbensystemen[1]). Für die ganze Reihe der homogenen Lichter wird das Mischungsverhältnis Rot-Blau bestimmt, das zur Gleichung mit dem homogenen Licht notwendig ist, ebenso die erforderliche Gesamtintensität des Mischlichtes. Diese wird zahlenmäßig abgelesen und nach Maßgabe des Mischungsverhältnisses Rot-Blau auf diese beiden Aichlichter verteilt. Sei beispielsweise bei der Gleichung mit Natriumgelb für das Rotblaugemisch eine Spaltweite 90 erforderlich, und beträge das Mischungsverhältnis Rot-Blau $^5/_4$, so erhält man für das Spektrallicht 589 $\mu\mu$, die beiden Aichwerte 50 und 40. (In welcher Weise die tabellarische und graphische Eintragung erfolgt, ist S. 36 kurz angegeben.) Während man gewöhnlich bei angeborenen dichromatischen Systemen für jedes homogene Licht eine ganze Anzahl (etwa 8—10) Einstellungen vornehmen läßt, um daraus dann Mittelwerte zu berechnen, ist bei erworbener Farbenblindheit dieses Präzisionsverfahren oft nicht angängig, aus zwei Gründen; erstens würde dadurch die Prüfung zu lange ausgedehnt werden, sodaß die Patienten bei den letzten Bestimmungen ermüden; hierdurch kann bekanntlich das Farbensehen nicht unwesentlich beeinflußt werden, und besonders bei der erworbenen progressiven Rotgrünblindheit mußte ich mehrmals die Untersuchung gegen Schluß aus diesem Grunde abbrechen. Zweitens ist die Unterscheidungsfähigkeit für Helligkeitsdifferenzen oft überhaupt so gering, daß eine größere Anzahl Selbsteinstellungen ganz erhebliche Abweichungen voneinander aufweisen. Mittelwerte erhalten auf diese Weise etwas sehr Willkürliches. Man geht deswegen im allgemeinen besser so vor, daß man von dem Beobachter für jedes homogene Licht zunächst eine einmalige Einstellung der Rot-Blaumischung vornehmen läßt (oder auch selbst nach seinen Angaben vornimmt), bis der Farbenton und die Helligkeit der beiden Felder für den Beobachter genau übereinstimmt. Dann stellt man nach beiden Seiten die Einstellungsbreite fest, besonders hinsichtlich der Helligkeit. Ist diese unerheblich (etwa 10% der Gesamtzahl), so wiederholt man nur an den wichtigen Punkten des Spektrums die Einstellung mehrmals und nimmt dann Mittelwerte. Bei der erworbenen Tritanopie gelangt man auf diese Weise zu ganz brauchbaren Ergebnissen, ja man kann hier auch — bei gutem Sehvermögen — Präzisionsbestimmungen wie bei der angeborenen Farbenblindheit vornehmen.

Ist die Einstellungsbreite (besonders der Helligkeit) sehr erheblich (20% und selbst darüber), so sind Mittelwerte unbrauchbar. Man bestimmt dann die obere und untere Grenze der Helligkeitseinstellung, indem man die Gleichung „einengt", (ähnlich wie das Rotgrüngemisch bei der Rayleighgleichung S. 373). So bekommt man einen oberen und unteren Grenzwert, die in der Tabelle beide notiert werden und bei der graphischen Darstellung in Kurvenform ebenfalls berücksichtigt werden (Beispiel, Tabelle und Kurve S. 155). Bei der erworbenen Rotgrünblindheit wird dieses Vorgehen meist notwendig sein.

---

[1]) Anweisung siehe Nagel in Tigerstedts Handbuch der physiolog. Methodik, S. 84.

Zu **Demonstrationen** vor einer größeren Anzahl Zuhörern eignen sich am besten das objektive Spektrum, der Farbenkreisel, das Heringsche Fenster, sowie alle spektralen Versuchsanordnungen, ähnlich wie die von Zeemann (17) angegebenen. Die Nagel-Köllnersche Lampe oder ähnliche Laternenapparate sind zwar auch sichtbar, aber erscheinen für größere Entfernung unter zu kleinem Gesichtswinkel. Nicht anwendbar sind natürlich alle Apparate mit subjektiven Spektren, bei denen jeder Beobachter einzeln durch einen Okularspalt blicken muß.

B. Prüfung des Farbensinnes im indirekten Sehen

(Das Farbengesichtsfeld).

1. Die Bedeutung für die Diagnostik.

Die Prüfung des Farbengesichtsfeldes ist in jedem Falle erworbener Farbensinnstörung unentbehrlich. Mit ihrer Hülfe sind mehrere Fragen zu lösen:

a) Die Ausdehnung einer bereits festgestellten Farbensinnstörung im Gesichtsfeld. Dabei hat die Form des Gesichtsfelddefektes die gleiche Bedeutung für Art und Lokalisation der Erkrankung, wie die Gesichtsfeldstörungen für weiße Objekte.

b) In allen Fällen, in denen die bisherige Untersuchung nicht die Entscheidung hat geben können, ob eine angeborene oder erworbene Farbensinnstörung vorliegt, beweist eine nur teilweise Störung im Gesichtsfelde die letztere.

Eine derartige Entscheidung, ob „angeboren oder erworben farbenblind", kann nämlich unter Umständen Schwierigkeiten bereiten

zwischen Deuteranopie und erworbener Rotgrünblindheit (S. 182),

zwischen deuteranomaler Trichromasie und beginnender progressiver Farbenblindheit (S. 185),

zwischen angeborener und erworbener Tritanopie (Blaugelbblindheit),

zwischen protanomaler Trichromasie und erworbener Blaublindheit (wegen des fast gleichen Verhaltens gegenüber der Rayleighgleichung).

c) die Qualität des Farbensehens überhaupt. Die Frage, wie der Patient die Farben nun im Verhältnis zum Normalen eigentlich sieht, ist bisher bei der Untersuchung mit pseudoisochromatischen und Mischungs-Gleichungen vernachlässigt worden; denn es kam bei der Untersuchung im allgemeinen nur darauf an, ob zwei Felder gleich erschienen oder ungleich, aber nicht, wie sie gesehen wurden. Nur aus Gleichungen zwischen Farben und unzerlegtem (farblosem) Licht konnten wir entnehmen, welche Töne für den Patienten ihre Farbe eingebüßt bezw. ihre Sättigung nahezu vollkommen verloren hatten. Daß das einfache Benennenlassen vorgehaltener farbiger Objekte nicht immer eine einwandsfreie Beurteilung zuläßt, ist S. 360 auseinandergesetzt.

Ganz anders bei der Gesichtsfeldprüfung. Beim Überführen des farbigen Objektes aus gesunden auf erkrankte Bezirke ist der Patient in der Lage, die dicht aufeinanderfolgenden Eindrücke, die er empfängt, direkt zu vergleichen; er und der Untersucher brauchen sich nicht mehr auf seine Erinnerungsbilder zu verlassen. So spielt denn auch die Prüfung des Gesichtsfeldes bei solchen Farbensinnstörungen eine erste Rolle für die Diagnostik, bei denen man besonders auf die Feststellung der Empfindung angewiesen ist und Gleichungen nicht immer ein sicheres Ergebnis liefern, z. B. bei der erworbenen Blaugelbblindheit.

d) Zur Feststellung der allerersten Anfänge einer Farbensinnstörung, besonders der so wichtigen progressiven über die Rotgrünblindheit führenden Funktionsstörung, also bei fast allen Sehnervenerkrankungen. Bisher haben sich für die ersten Anfänge weder die Rayleighgleichung noch pseudoisochromatische noch andere quantitative Methoden bewährt (s. S. 168). Und ich glaube auch, wenn wir sie auch noch so vervollkommnen, was ja hoffentlich der Fall sein wird, vorläufig wird eine Perimeteruntersuchung, mit aller Sorgfalt ausgeführt, bei der Feststellung der ersten Anfänge nicht zu ersetzen sein. Denn bei der isolierten Prüfung des fovealen Farbensinnes können etwaige individuelle Verschiedenheiten der Empfindung nie berücksichtigt werden. Bei jeder nun wirklich gegenüber einer normalen Vergleichsperson festgestellten eben merklichen Herabsetzung des Farbensehens würde man daher wiederum vor der Frage stehen, ist das nun schon pathologisch oder noch nicht.

Am Perimeter dagegen kann ein partieller Defekt im Gesichtsfeld, wenn auch noch so gering, nachgewiesen werden und so an ein- und demselben Sehorgan der direkte Übergang aus dessen normaler Farbenschwelle in die erhöhte pathologische geprüft werden.

In diesem Sinne kann man auch einen, wenn auch unvollkommenen Anhalt für den Grad der progressiven Farbensinnstörung am Perimeter erhalten, wenn man die große Abhängigkeit der Funktionsstörung von den Untersuchungsbedingungen, speziell der Objektgröße, mitbenutzt.

e) Endlich ist bei allen erheblich extrafoveal gelegenen herdförmigen Farbensinnstörungen die Gesichtsfeldprüfung für Farben noch immer die souveräne Untersuchungsmethode.

2. Allgemeine Gesichtspunkte für die Untersuchung.

Bei der Prüfung des Farbengesichtsfeldes bestimmt man die spezifischen Grenzen; d. h. *erst der Moment ist maßgebend, in welchem das heranbewegte,* z. B. *rote Quadrat wirklich auch rot gesehen bezw. bezeichnet wird, ebenso bei den anderen Farben.*

Der große Einfluß der Untersuchungsanordnung auf das Farbensehen macht die Beachtung einer Reihe von wichtigen Momenten bei der Prüfung notwendig.

Die Größe der Objekte. Die charakteristische Abnahme der normalen Farbenempfindung vom Zentrum des Gesichtsfeldes nach der Peripherie, dieses allmähliche Abklingen unseres so hochentwickelten Farbensinnes im direkten Sehen zu seinem fast völligen Aufhören macht es von vornherein unmöglich, eine Farbensinnstörung nahe dem Zentrum und in der Peripherie in gleicher Weise prüfen zu wollen. Um normaler Weise an die Grenze der Erkennbarkeit, oder physiologisch gesprochen, in die Nähe der spezifischen Farbenschwelle, zu gelangen, sind im ersteren Falle so feine Farbobjekte notwendig, wie immer aufzutreiben, im letzteren müssen dagegen möglichst kräftige Reize verwendet werden und auch für die dazwischenliegenden mittleren Zonen kann kein unveränderliches Einheitsobjekt festgesetzt werden. Es erhellt daraus jedenfalls der *Grundsatz, bei Prüfung peripherer Gesichtsfeldausfälle die normalen Grenzen für farbige Objekte möglichst weit peripher hinauszuschieben, füglich große, gesättigte und helle Farbenquadrate zu verwenden. Im Gegensatz dazu bei zentraler gelegenen mit möglichst kleinen und wenig gesättigten Objekten zu prüfen,* wenn anders man nicht beginnende Störungen der Farbenempfindung

übersehen will. Und je größer ein zentrales Skotom ist, je weiter es nach der Peripherie reicht, desto größer muß man die farbigen Quadrate wählen, die es nachweisen sollen.

Bei peripheren Einengungen ist eine Objektgröße von 20 mm nicht zu vermeiden (event. sind die lichtstarken Objekte elektrischer Perimeter ratsam s. u.).

Die Farbe der Objekte. Zur Perimeteruntersuchung genügen im allgemeinen zur Orientiereng in der Tat die gebräuchlichen 4 Farbentöne: Rot, Gelb, Grün und Blau, zumal für die Gesichtsfeldperipherie. Für das foveale Sehen, wo höhere Anforderungen gestellt werden können, besitzt man ja die verschiedenen Arten der Farbensinnprüfung als viel besseren Ersatz. Bleibt also im großen und ganzen nur für wissenschaftliche Untersuchungen eine Vermehrung der Farbentöne übrig und für einige Fälle von ganz beginnender Störung des Farbensinnes in der Nähe des Fixierpunktes, bei denen die Angaben der Beobachter bei der Untersuchung mit Rot, Gelb, Blau, Grün noch kein bestimmtes Urteil zulassen. Man benutzt zweckmäßig farbige Papiere oder Tuche, die allgemein zugänglich sind, um die Möglichkeit einer einigermaßen einheitlichen Untersuchung und Nachprüfung wenigstens anzudeuten; jedenfalls vermeide man irgendwelche Farbenpapiere aus einem obskuren Papierladen; auch Glanzpapiere sind unstatthaft.

Von allgemein gebräuchlichen Farben seien hier empfohlen die Heidelberger Papiere, Heringschen Papiere[1]) und die Marxschen Tuche[2]).

Es wäre einleuchtend, für die vier Farben Rot, Grün, Blau und Gelb diejenigen Töne zu wählen, welche ihren Ton in der Peripherie des Normalen nicht ändern, sondern direkt in Grau übergehen, die sogen. invariablen Farben (S. 25). Ole Bull, Hegg u. a. haben versucht, derartige Farben für die klinische Untersuchung einzuführen. Allein man opfert doch besser diese Übereinstimmung der Farben praktischen Gründen. Ganz abgesehen davon, daß die 4 Töne nur bei bestimmter Beleuchtung invariabel sind, erfordert es eine große Übung, anzugeben, in welchem Moment eine Farbe, die nur an Sättigung zunimmt, nun wirklich als Farbe erscheint. Leichter wird dagegen oft eine Tonänderung der farbigen Objekte erkannt und daher sicherer der Moment angegeben, wenn z. B. ein Gelb über Orange nunmehr Rot gesehen wird. Deswegen ist ein gelbliches (spektrales) Rot dem unveränderlichen Purpurrot vorzuziehen. Für Grün gilt dasselbe;

---

1) S. Anmerkung S. 361.

2) In optischen Handlungen erhältlich.

doch kann hier auch das invariable Grün gewählt werden. Auch ein mehr gelbliches Grün ist brauchbar. Dieses geht dann von der Peripherie nach dem Zentrum zu von Grau über gelblich in Grün über.

Blau und Gelb sind am besten invariabel, also etwa den Spektrallichtern 570 und 470 $\mu\mu$ entsprechend auszuwählen, d. h. das Gelb darf nicht nach Orange neigen, das Blau nicht zu grünlich sein.

Zweckmäßig schafft man sich große Bogen der betreffenden Farben an und erneuert die Objekte häufig, da sie leicht schmutzen und ausbleichen.

Die Führung der Objekte auf dem Untergrund soll zentripetal erfolgen, wegen der Ermüdung des Sehorganes für farbige Eindrücke nicht zu langsam, vor allem aber stetig und nicht unregelmäßig. Wenn man als Untergrund Scheiben benutzt, wie z. B. am Haitzschen Apparat, und keine Perimeterbogen, so empfiehlt es sich zuweilen, von der zentripetalen Führung abzuweichen, so z. B. bei Hemianopsien. Hier führt man das Objekt in horizontalen parallelen Linien quer über das Gesichtsfeld von den gesunden auf die kranken Hälften usw.

Als Untergrund für die farbigen Objekte dienen die Flächen der betreffenden Perimeter oder ähnlicher Apparate wie Campimeter; als Ersatz auch einfache Scheiben.

Ich will hier nicht auf die große Zahl der verschiedenen Perimeter- und Campimeterkonstruktionen eingehen[1]). Die Wahl des Modells ist von untergeordneter Bedeutung, und es genügt im Grunde genommen der einfachste Apparat, ja eine einfache Pappscheibe, wenn folgende Bedingungen berücksichtigt werden:

a) Die Farbe des Untergrundes. Am zweckmäßigsten wäre theoretisch für die Untersuchung ein Grau von derselben Helligkeit, wie die Objektfarben (vergl. S. 28). Schon wegen des wechselnden Adaptationszustandes der Sehorgane kann diese Forderung nicht aufrecht erhalten werden. Man kann daher ruhig für die klinische Untersuchung einen schwarzen, d. h. in Wahrheit dunkelgrauen Grund benutzen. Viel wichtiger ist, daß der Untergrund überall gleichmäßig gefärbt ist, vor allem keine glänzenden Stellen (Lichtreflexe am Lack, durchschimmerndes Metall usw.) aufweist.

b) Vermeidung aller Unebenheiten und überflüssigen Kanten. Besonders die selbstregistrieren-

[1]) Näheres mit Literatur siehe im Graefe-Saemisch, Handbuch der ges. Augenheilk. II. Auflage Band IV (Landolt, die Untersuchungsmethoden des Auges).

den Schlittenperimeter, so schön bequem sie auch sich handhaben lassen, sind für die Farbenprüfung von recht zweifelhaftem Vorteil. Die vielen Vorsprünge und Kanten geben Schatten und stoßen sich vor allem leicht ab, sodaß hier das Metall hindurchscheinen kann. Wenn auch zur flüchtigen Feststellung der peripheren Farbengrenzen ein derartiges Perimeter ausreichend ist, so ist eine Untersuchung der zentralgelegeneren Teile des Gesichtsfeldes (bei zentralen Skotomen) mit ihm doch aussichtslos. Die oft nötigen kleinen Farbenquadrate von 1—2 mm Seitenlänge können förmlich unter den Schäden des Schlittens verschwinden. Aus demselben Grunde sind elektrische Perimeter, bei denen der Schlitten, der die Lampe trägt, noch unförmlicher ist, nur bei so stark herabgesetzter Beleuchtung verwendbar, daß die Einzelheiten der Konstruktion nicht mehr merklich hervortreten.

c) In ganz ähnlicher Weise ist die Fixationsvorrichtung am Perimeter von Wichtigkeit. Der mehrere Millimeter durchmessende Knopf an den Perimetern ist bei der gröberen Prüfung auf die peripheren Farbengrenzen wenig störend; er kann aber ebenfalls die Untersuchung auf kleinere zentrale Skotome sehr beeinträchtigen; denn ihm gegenüber wird ein kleines schüchternes farbiges Quadrat von 1 mm gleichsam erdrückt. Hierfür genügt ein feiner grauer Punkt, der bei dem oft nur wenig herabgesetzten Sehvermögen noch mühelos erkannt wird. Es sollten daher entweder auswechselbare Fixationsobjekte von verschiedener Größe angewendet werden oder aber bei der Prüfung auf zentrale Skotome besondere dunkle Tafeln mit feinem Fixierpunkt, benutzt werden, wie sie für den Haitzschen Apparat (12) angegeben sind, d. h. Tafeln mit feinen sich kreuzenden Radiärlinien, wobei der Kreuzungspunkt fixiert wird und je nach Bedarf noch mehr oder weniger besonders markiert werden kann. (Auch eine einfache dunkelgraue Pappscheibe kann man sich als Ersatz vom Buchbinder herstellen lassen.)

Bei zentralen Skotomen bietet die Fixation nicht selten Schwierigkeiten, da infolge des Ausfalles oder der Minderwertigkeit der Fovea centralis die Patienten entweder den schon normaler Weise nicht ganz ruhigen Blick noch mehr hin- und herschweifen lassen oder überhaupt mit dem Rande des Skotoms fixieren. In letzterem Falle findet man bei der Perimeteruntersuchung — nicht ganz selten — ein scheinbar exzentrisches Skotom, das in Wahrheit ein infolge der Fixation verlagertes zentrales darstellt.

Man hat aus diesem Grunde bei einseitigen Skotomen zur binokularen Fixationsmethode gegriffen, die zweifellos Vorteile bietet. Es empfiehlt sich vor allem die stereoskopische Methode

von Haitz (12) (vorausgesetzt, daß keine Bewegungsanomalien der Augen vorhanden sind).

Für größere Skotome kann auch die Schlössersche Methode gewählt werden. Vor das nicht untersuchte Auge wird ein Glas gesetzt, das zu der Farbe des Perimeterobjektes komplementär gefärbt ist, sodaß das Farbenquadrat nur von dem zu untersuchenden Auge erkannt werden kann, der weiße Fixierpunkt jedoch auch dem anderen sichtbar ist.

d) Die Vermeidung störender Nebeneindrücke. Bei dem gewöhnlichen Perimeter deckt der Kreisbogen nur einen kleinen Teil des Gesichtsfeldes des Patienten. Befinden sich in dem übrigen Teil viele stark kontrastierende Körper (z. B. weißer Mantel des Untersuchers), so wird dadurch die Sicherheit der Beobachtung nicht unerheblich gestört. Abhilfe ist von verschiedener Seite getroffen worden, z. B. das Hintersetzen einer großen schwarzen Tafel (Ole Bull); Wilbrand läßt den Untersucher schwarzen Rock und mattschwarze Handschuhe tragen, auch die Umgebung des Perimeters ist schwarz gefärbt. Bei Untersuchung der peripheren Grenzen braucht man im allgemeinen nicht allzu ängstlich sein. Beim Prüfen der zentralen Teile des Gesichtsfeldes empfiehlt sich allerdings eine Scheibe von der gleichen Farbe wie der Perimeterbogen hat, anbringen zu lassen. Bei den Haitzschen Tafeln ist das ganze sichtbare Feld gleichmäßig dunkel und alle störenden Eindrücke fallen weg, ein Hauptvorzug der Methode.

e) Die Beleuchtung muß gleichmäßig und möglichst vollkommen sein. Aus ersterem Grunde verwendet man ziemlich allgemein das Tageslicht und setzt den Patienten mit dem Rücken gegen das Fenster und möglichst nahe an dieses heran. Stets ist daran zu denken, daß schon bei gewöhnlicher Beleuchtung in der Gesichtsfeldperipherie das Dämmerungssehen eine große Rolle spielt; sowie Störungen der Dunkeladaptation vorhanden sind, — bei den Netzhauterkrankungen eine sehr häufige Begleiterscheinung — ergeben sich in der Erkennung der farbigen Quadrate erhebliche Unterschiede gegenüber dem Normalen und treten je nach dem Grade der Beleuchtung mehr oder weniger hervor. Deswegen empfiehlt es sich bei den Aufzeichnungen, besonders bei Netzhauterkrankungen, Tageszeit und Art der Beleuchtung anzugeben. Kontrolliert man z. B. den Verlauf einer Netzhautablösung durch fortlaufende Aufnahme der Farbengrenzen, so können durch die Beleuchtungsdifferenzen Täuschungen zu Gunsten oder Ungunsten des Patienten hervorgerufen werden.

Im allgemeinen wird für eine klinische Untersuchung demnach ein einfaches Perimeter (ohne Schlitten und Selbstregistrierung)

vollkommen ausreichen, wenn man die genannten Vorsichtsmaßregeln berücksichtigt und sich daneben für die Untersuchung zentraler Skotome des Haitz schen stereoskopischen Verfahrens bedient, das wohlfeil und durchaus zweckmäßig erscheint. Als Objekt dienen bei ihm feine farbige Scheibchen, die an Draht auf einer dunklen Tafel mit Gradeinteilung bewegt werden.

Der Versuch, Apparate zu konstruieren, welche auch für die Peripherie des Gesichtsfeldes Gleichungen gestatten, dürfte recht lohnend sein. Im allgemeinen wird es dabei aus technischen Gründen ratsam sein, den Fixierpunkt auf einen Kreisbogen zu verschieben und die Farbenobjekte im Drehpunkt aufzustellen. Meine Versuche in dieser Richtung sind noch nicht abgeschlossen[1]).

3. Einengung der peripheren Farbengrenzen.

Es sei nochmals darauf hingewiesen (vergl. a. S. 27), daß normaler Weise keine Zone der Netzhaut ganz farbenblind ist, vielmehr hängt die Grenze, bis zu welcher noch eine farbige Empfindung auszulösen ist, nur von der Art der farbigen Objekte ab. Würde man die 4 unveränderlichen Farbentöne Rot, Grün, Blau, Gelb in gleicher Helligkeit und Sättigung beim Perimentrieren anwenden, so fielen die Außengrenzen für Rot und Grün sowohl, wie auch von Gelb und Blau zusammen. Bei den gewöhnlich angewendeten farbigen Objekten, welche diesen Anforderungen nicht entsprechen, liegen dagegen die Grenzen von Rot und Grün mehr oder weniger weit auseinander, ein Umstand, der nicht unerwünscht ist, weil man durch dieses Auseinanderziehen gleichsam verschiedene Grade der Farbenempfindung Rotgrün gewinnt.

Auf folgender Tabelle sind einige Durchschnittswerte für die Farbengrenzen in den Hauptmeridianen angeführt.

		oben	außen	unten	innen
Heidelberger Papiere	Blau	40	81	58	49
20 mm □	Rot	38	74	54	37
(nach Schwarz)	Grün	32	65	42	37
Farbige Tuche	Blau	46—51	76—84	56—67	46—54
10 mm □	Rot	40—47	64—70	48—58	41—50
(nach Lampel)	Grün	29—40	56—62	42—54	33—45

Wendet man die Haitz sche Methode an mit den 1 mm großen farbigen Objekten, so verengt sich das normale Farbengesichtsfeld ganz erheblich, bis auf etwa 10—15°.

Mit Hilfe der elektrischen Perimeter können infolge der Lichtstärke die Farbengrenzen noch weiter peripher verschoben werden, sodaß sie nach außen wenigstens für Blau und Rot 90° nahezu erreichen, doch muß dabei berücksichtigt werden, daß man in diesem Falle im Dämmerungssehen prüft.

[1]) Einen derartigen nach Art der Farbengleichungslampe konstruierten Apparat hat mir Öhmke, Berlin hergestellt. Die beiden Vergleichsfelder sind zwei Quadrate von 15 mm Seitenlänge.

Will man also die normalen Farbengrenzen möglichst weit peripher verschieben, so muß man die farbigen Quadrate möglichst groß (20 mm □), gesättigt und gut beleuchtet wählen.

Die gewählten Versuchsbedingungen (Art der Beleuchtung, Größe, Qualität der Farben) müssen stets notiert werden.

Bei der Unsicherheit und den Schwankungen, welchen nun schon normalerweise die Grenzen für farbige Objekte unterliegen, ist eine unerhebliche Einengung der Gesichtsfeldgrenzen stets nur dann in pathologischem Sinne diagnostisch zu verwerten, wenn man sichere Kontrolluntersuchungen vornimmt entweder an dem zweiten normalen Auge desselben Beobachters, oder in anderen noch normalen Quadranten desselben Gesichtsfeldes, und, wenn beides nicht möglich, an einem normalen Auge eines anderen Beobachters, welcher der Gesichtsfeldprüfung mit der gleichen Unbefangenheit entgegen sieht, wie der fragliche Patient.

Für die Beurteilung der peripheren Farbengrenzen kommen ganz allgemein 3 Möglichkeiten in Betracht:

1. Die Grenzen nehmen zwar eine abweichende Lage ein, sie wahren aber untereinander die normale Reihenfolge, d. h. wenn normal Grün das kleinste, Blau das größte Gesichtsfeld hat, bleibt dieses Verhältnis bestehen. Dabei können die Grenzen trotzdem auf engen Raum aneinanderrücken, ja stellenweise fast oder auch ganz aufeinanderfallen.

2. Die Reihenfolge der Farben ist in einer gewissen Konstanz gestört, so daß die Grenzen z. B. für Blau enger sind als für Rot. Findet diese Umkehrung der Reihenfolge nur an einer Stelle des Gesichtsfeldes statt, so müssen sich die Grenzen für Rot und Blau notwendig wenigstens an 2 Stellen kreuzen.

3. Die Reihenfolge der Farben wechselt ganz bunt durcheinander unter mehrfachem Sichkreuzen der Grenzen, ohne daß sich eine gewisse Gesetzmäßigkeit bemerkbar macht.

a) Farbengrenzen in normaler Reihenfolge.

Zuerst ziehen sich die Grenzen für Grün zurück, dann die für Rot und schließlich auch für Blau; und zwar ist der Abstand der Blaugrenze von der Rotgrenze gewöhnlich größer als der zwischen Rot und Grün. Damit sind die Symptome der bekannten progressiven über die Rotgrünblindheit führenden erworbenen Farbenblindheit aufgetreten, die von der peripheren physiologischen Herabsetzung des Farbensinnes, wie wir sahen, sich nicht unterscheiden läßt (S. 186). Sie ist das Zeichen einer Beeinträchtigung der Funktionen des Auges und muß

als eine Vorstufe zum völligen Funktionsausfall bezw. Gesichtsfeldausfall betrachtet werden (der natürlich nicht regelmäßig aufzutreten braucht).

Bei derartigen Gesichtsfeldausfällen, gleichgültig, ob sie sich konzentrisch oder in irgend einer Form sektorenförmig darstellen, können die Farbengrenzen von Grün bis Blau, d. h. also die farbenblinde Zone sich entweder auf einen ganz schmalen Raum zusammendrängen oder in eine Linie zusammenfallen; dann grenzen hochgradig affizierte Faserbündel der Sehbahn und noch gut erhaltene in scharfer Trennung dicht aneinander. Ein derartiges Verhalten findet man am reinsten bei den Farbenhemianopsien. Oder aber die Entfernung zwischen der „Grüngrenze" und „Blaugrenze" nimmt eine mehr oder weniger beträchtliche Zone ein, wie es z. B. bei der konzentrischen Einengung fast regelmäßig der Fall ist.

Die Bedeutung einer solchen peripheren relativ farbenblinden Zone kann eine doppelte sein: a) entweder es liegt eine isolierte Erkrankung derjenigen Leitungsbahnen vor, welche eben diese Peripherie des Gesichtsfeldes versorgen; dann muß die Funktionsstörung bezw. die Farbenblindheit dort nach dem Fixierpunkte zu aufhören, wo die Grüngrenze festgestellt worden ist. b) Oder aber der ganze Querschnitt des Sehnerven ist bereits erkrankt und in seiner Funktion herabgesetzt, und die gewählte Versuchsanordnung mit den großen Objekten genügt nun nicht mehr, um die Störung in den nach dem Fixierpunkt hin gelegenen Teilen des Gesichtsfeldes nachzuweisen.

Zur Feststellung, ob die innerhalb der Grüngrenze gelegenen Gesichtsfeldpartien auch wirklich normalen Farbensinn besitzen, müssen daher entsprechend der mehr und mehr nach dem Fixierpunkt zunehmenden Farbenempfindung die Beobachtungsbedingungen verschlechtert werden. Man erreicht das sehr einfach durch Verkleinerung der farbigen Quadrate. Erhält man auf diese Weise wiederum eine Einengung der Farbengrenzen (Vergleich mit einem normalen Sehorgan!), so ist der Beweis erbracht, daß auch die Sehnervenfasern, welche den zentraleren Teil des Gesichtsfeldes versorgen, bereits in ihrer Funktion herabgesetzt sind. Auf diese Weise kann man die Farbenempfindung bis an den Fixierpunkt heran prüfen. Für die letzten 10° kann man sich zweckmäßig der Haitzschen Vorrichtung bedienen.

Z. B. ist es mit Hülfe dieser Untersuchung mit immer kleineren Objekten öfter möglich, frühzeitig bei Hypophysiserkrankungen einen Ausfall der temporalen Gesichtsfeldhälften nachzuweisen, der sonst dem Untersucher entgehen kann. Auch bei tabischen und neuritischen Atrophien läßt sich auf diese Weise die Ausdehnung der bereits erkrankten Sehnervenbündel leichter übersehen.

Die Grenzen für weiße Objekte können noch längere Zeit normal oder doch nahezu normal bleiben, wenn man mit großen Objekten untersucht. Mit kleineren oder grauen Objekten (Verminderung des Schwarz-Weiß-Kontrastes, Lichtsinn!) läßt sich meist auch hier die ausgedehnte Funktionsstörung nachweisen, da in der Regel gleichzeitig mit der Farbensinnstörung auch der Lichtsinn zu sinken beginnt.

Bei auffälligem frühzeitigen Heranrücken der Grenzen für Blau an die Rotgrenze, während der Abstand zwischen Rot und Grün sich nicht wesentlich verändert, muß an eine Störung der Dunkeladaptation gedacht und die entsprechenden Kontrollprüfungen vorgenommen werden (Adaptometer oder Gesichtsfeldgrenzen für Weiß bei herabgesetzter Beleuchtung bezw. im halbverdunkelten Zimmer).

b) Farbengrenzen in anderer Reihenfolge wie normal.

Hierher gehört vor allem das Zurückziehen der spezifischen Blaugrenze unter die Rotgrenze in der ganzen Peripherie oder nur in einem Teil des Gesichtsfeldes. Fast regelmäßig handelt es sich dann um eine beträchtliche Störung der Dunkeladaptation, denn bei der gewöhnlichen guten Tagesbeleuchtung tritt der Dämmerungsapparat des Auges bekanntlich bereits merklich in Tätigkeit (S. 21). Dabei wird das blaue Objekt in der Regel, ehe es als Blau bezeichnet wird, schwarz oder gegenüber dem dunkeln Untergrund garnicht gesehen. Damit ist auf eine Erkrankung der äußeren Schichten der Netzhaut hingewiesen; die Art des zu Grunde liegenden Krankheitsprozesses bleibt dabei vorläufig noch unbekannt.

Nur wenn der Patient das blaue Objekt, ehe es blau gesehen wird, als „grün“ bezeichnet, liegt mit großer Wahrscheinlichkeit der Symptomenkomplex vor, den wir als erworbene Blau- oder Violettblindheit kennen gelernt haben.

Eine Kontrolle kann durch Perimetrieren mit einem gelben Objekt erzielt werden, das im Bereich der Störung gewöhnlich „weiß“ erscheint oder auch rötlich (wenn das Gelb mehr dem Orange ähnelt).

Weitere Unregelmäßigkeiten der Reihenfolge der Farbengrenzen, besonders bei konzentrischer Einengung des Gesichtsfeldes lassen vor allem an Hysterie denken. Hierher gehören abnorm weite Grenzen für Grün usw. Genaue Angaben lassen sich nicht geben, da bei der Hysterie (s. dort) eben alles möglich ist.

c) Unregelmäßige Kreuzung der Farbengrenzen.

Ein unregelmäßiges und mehrfaches Sich-Kreuzen der Farbengrenzen für Grün, Rot und Blau beruht in der Mehrzahl der Fälle

auf Beobachtungsungenauigkeiten und Registrierungsfehler. Letztere vermeidet man am besten, indem man für alle Farben immer in denselben Meridianen untersucht; geschieht dies nicht, und verbindet man die einzelnen Punkte verschiedener Meridiane durch gerade, nicht durch gebogene Linien, so können sich diese an mehreren Punkten schneiden und Fehler ergeben.

Beobachtungsfehler sind sehr leicht möglich, wenn man die Unsicherheit der Farbengrenzenbestimmung überhaupt und die Ermüdungsgefahr berücksichtigt. Sie müssen sich natürlich dann besonders bemerkbar machen, wenn die Grenzen für Grün, Rot und Blau sehr nahe aneinanderliegen.

Bei denjenigen Erkrankungen, welche mit einer Störung der Dunkeladaptation einhergehen, pflegt ein Durchkreuzen der Farbengrenzen häufiger, als bei Sehnervenleiden aufzutreten: es kommt die Inversion von Blau und Rot infolge des Ausfalls des Purkinjeschen Phänomens noch hinzu.

Schließlich spielen auch hier die funktionellen Erkrankungen des Nervensystems eine ätiologische Rolle, voran die Hysterie.

4. Die nicht randständigen Defekte (Skotome).

Die Mehrzahl der Skotome ist zentral bezw. parazentral gelegen, weil sowohl die Netzhaut in der Gegend des hinteren Augenpols, als auch das sie versorgende papillomakulare Bündel des Sehnerven eine gewisse Sonderstellung in der Pathologie einnehmen im Sinne einer erhöhten Vulnerabilität.

Die Unterscheidung zwischen positiven und negativen Farbenskotomen läßt sich kaum scharf durchführen und hat auch keine große praktische Bedeutung. Bei den positiven Skotomen sieht der Patient einen farbigen Fleck im Gesichtsfeld, eine Erscheinung, die unter den verschiedensten Verhältnissen auftreten kann. In dem Abschnitt über subjektives Farbensehen ist das nähere darüber einzusehen. Nur an die wichtigste und häufigste Form positiver Farbenskotome sei hier nochmal erinnert, an das Sehen grüner, seltener blauvioletter Flecke im Gesichtsfelde. In derartigen Fällen muß stets an frische bezw. entzündliche Netzhauterkrankungen gedacht werden.

Zwischen zentralen und parazentralen Farbenskotomen besteht im allgemeinen weder genetisch (S. 279) ein nennenswerter Unterschied, noch auch für die Untersuchungstechnik. Von weit größerer Bedeutung für letztere ist die außerordentlich wechselnde Größe der Skotome. Je weiter sie nach der

Peripherie hineinreichen in Zonen mit geringer ausgebildeter Farbenempfindung, umso gröbere bezw. größere Farbenobjekte müssen auch für die Untersuchung gewählt werden. Besonders die ganz großen Farbenskotome haben oft eine ganz entscheidende diagnostische Bedeutung. Denn in Fällen mit scheinbar gleichmäßiger hochgradiger Funktionsstörung im Bereiche des ganzen Sehnervenquerschnittes (etwa Sehschärfe = $^1/_{60}$, Gesichtsfeld für Weiß etwas konzentrisch eingeengt) kann man mit Hülfe der Farbenprüfung doch zuweilen noch eine Andeutung eines großen Skotoms nachweisen, als Beweis, daß es sich um eine vorzugsweise Erkrankung des papillomakularen Bündels handelt.

Die Hoffnung, mit Hülfe der Farbensinnprüfung zentrale Skotome zu finden, darf in keinem Falle von vornherein aufgegeben werden, mag die Sehschärfe noch völlig normal sein, oder mag sie auf $^1/_{60}$, selbst darunter gesunken sein. Der erstere Fall kommt sowohl für Netzhauterkrankungen (bes. Ödeme) wie für Sehnervenleiden in Betracht; bei hochgradig herabgesetztem Sehvermögen ist zwar im allgemeinen aus anderen klinischen Symptomen schnell festzustellen, was für eine Erkrankung vorliegt, doch kann dem Nachweis der Skotome noch eine wichtige ätiologische Bedeutung zukommen (es sei an die Differentialdiagnose zwischen tabischer Atrophie und Lues cerebrospinalis usw. erinnert).

Vielfach findet man eine ungefähre Übereinstimmung zwischen der Größe zentraler Skotome und der Herabsetzung der Funktionen in ihrem Zentrum, damit also auch der zentralen Sehschärfe, wenigstens bei Erkrankungen des Sehnerven, sodaß man mit gewisser Wahrscheinlichkeit aus dem Sehvermögen einen Rückschluß auf die Ausdehnung des Skotoms machen und darnach die Größe der farbigen Quadrate wählen kann (s. o.).

Die Führung der Objekte soll möglichst zentripetal, also von der Peripherie her, erfolgen, auf jeden Fall aus dem Gesunden ins Kranke, damit der Übergang des Farbensehens aus den normalen Gesichtsfeldbezirken in das Skotom beobachtet werden kann. Es genügt nicht, einfach im Fixierpunkte farbige Objekte benennen zu lassen, schon weil die Fixation seitens der Patienten nicht mehr mit der Fovea centralis zu erfolgen braucht.

Über die Zuverlässigkeit der Angaben des Beobachters unterrichtet man sich am einfachsten, wenn man den blinden Fleck zu Beginn der Untersuchung perimetriert (Ole Bull).

Vermutet man ein Skotom mittler Größe, d. h. von etwa 10—15° Radius, wobei die Sehschärfe annähernd $^1/_6$—$^1/_{10}$ betragen mag (der Wert soll nur einen ganz ungefähren Anhalt geben!), so wählt man am besten farbige Quadrate von etwa 5 mm Seiten-

länge. Bei schnellen Untersuchungen wird man sich mit den Farben Grün, Rot und Blau meistens bereits ein Bild machen können. In Zweifelsfällen, besonders wenn eine erworbene Blaublindheit in Frage kommt (Tonänderung des Blau in Grün), empfiehlt es sich, noch ein gelbes Objekt, ja außerdem auch ein orangefarbenes zu verwenden.

Ein Farbenskotom soll man nur dann feststellen und die notwendigen diagnostischen Schlüsse daraus ziehen, wenn wenigstens eins der farbigen Quadrate seinen Farbenton oder Sättigung — in der weiter unten skizzierten Weise — ändert.

Angaben, daß die Objekte an einer Stelle im Gesichtsfeld „dunkler" werden, sind nur vorsichtig zu verwerten, umso mehr, als damit oft nur gemeint ist, daß sie nach dem Fixierpunkt hin an Sättigung zunehmen (wie es ja normal ist). Überhaupt wird von den Patienten der Begriff der Sättigung und Helligkeit oft nicht auseinandergehalten, wenn sie nicht besonders darauf aufmerksam gemacht werden.

Die Veränderungen in Ton und Sättigung, welche die Farbenquadrate im Bereiche des Skotoms erleiden, hängen so wesentlich von ihrer Beschaffenheit, objektiven Sättigung, Helligkeit, vor allem von ihrem Ton ab, daß es nur möglich ist, allgemeine Angaben über die häufigsten typischen Veränderungen zu machen. Einzelheiten lassen sich aus dem Verhalten der Patienten mit den betreffenden typischen Farbensinnstörungen (Rotgrünblindheit, Blaugelbblindheit usw.) gegenüber dem Spektrum leicht entnehmen. Man untersucht am besten zuerst mit roten Objekten. In der Regel ändert sich die Farbenempfindung folgendermaßen:

a) Gelbliches Rot (etwa Spektralrot), am häufigsten angewendete Farbe: in Ziegelrot, Orange (Bräunlich, Braun), dann Gelb, Graugelb, Gelblichgrau.

Derartige Veränderungen roter Quadrate lassen auf eine erworbene progressive Rotgrünblindheit mit ihrem Ausgang in totale Farbenblindheit schließen, wie sie am typischsten bei Erkrankungen des Sehnerven vorkommt, aber auch bei Netzhauterkrankungen möglich ist.

Man prüft dann weiter mit

b) Grün:

1. Gelbliches Grün: geht über in Gelblich, Gelblichgrau und Grau,
2. Bläulichgrün (der neutralen Stelle im Spektrum etwa entsprechend): geht ohne Zwischenstufen direkt in Blaßgrün und Grau über.

Wenn das Skotom für Grün etwas größer als für Rot erscheint, so hat das die gleichen Gründe, aus denen auch in der Peripherie die Grenzen für Grün enger sind als für Rot, d. h. es ist die verschiedene „Valenz" der farbigen Objekte verantwortlich zu machen. Bei geeignet ausgewähltem Rot und Grün würden auch hier die Grenzen zusammenfallen.

Man hat auf diese Weise ein Skotom für Rot und Grün festgestellt und kann als wahrscheinlich eine erworbene Rotgrünblindheit annehmen. Kontrolluntersuchungen mit den verschiedenen Methoden zur Prüfung des fovealen Farbensinnes (pseudoisochromatische Gleichungen usw.) ergeben weiteren Aufschluß.

Es kommt zuweilen vor, daß die Tonänderungen des roten Quadrates nach Gelb hin leicht gesehen werden; das grüne Quadrat dagegen, das ja je nach seinem Ton entweder gar keine oder nur eine geringe Tonänderung durchmacht, „behält seine Farbe", wie die Patienten sagen. Dann wird die Abnahme der Sättigung, die Änderung des Grün in Weißgrün, von dem Ungeübten nicht beachtet.

Um den Grad der Farbensinnstörung im Bereiche des Skotoms festzustellen, benutzt man, wenn die Fovea centralis mitbeteiligt ist, die quantitativen Methoden für die Bestimmung der Rotgrünblindheit (S. 172).

Am Perimeter selbst bietet die Größe der farbigen Quadrate einen ungefähren Anhalt; wählt man größere Objekte, so wird die Farbenänderung im Bereiche des Skotoms immer geringer. Deswegen ist es unumgänglich notwendig, wenn in der Literatur der Ausdruck „Skotom für Rot und Grün" gebraucht wird (was also gleichbedeutend mit einer erworbenen Rotgrünblindheit ist), die genauen Untersuchungsbedingungen, vor allem die Objektgröße mitzuteilen; sonst kann sich der Leser von der Schwere der Störung keine Vorstellung machen; man kann eben lediglich durch Änderung der Objekte beinahe jedes Skotom „für Rot und Grün" fast zum Verschwinden bringen, wenn man sie vergrößert, und man kann das Skotom in ein total farbenblindes verwandeln, wenn nur genügend kleine Quadrate gewählt werden.

Einen gewissen Anhaltspunkt für den Grad der Störung bietet auch die weitere Prüfung

c) mit Blau, das seinen Farbenton nur unwesentlich ändert, zuweilen einen Stich ins Violette bekommt, dafür aber an Sättigung abnimmt, über bläulich, Graublau in Grau übergeht.

Diese Abnahme der Sättigung beginnt zwar gleich im Anfang der Farbensinnstörung, gleichzeitig mit der Veränderung von Grün und Rot, ist aber hier noch so gering, daß sie an größeren Objekten (5 mm) nur von wenigen Patienten angegeben wird. Der völlige Verlust der blauen Farbe, also der Übergang zum reinen Grau tritt für den Patienten natürlich viel später ein, als bei dem Grün (siehe unter Rotgrünblindheit). Gleichzeitig zeigt das Grauwerden des blauen Quadrates an, daß für die gewählte Versuchsanordnung das Stadium der totalen Farbenblindheit erreicht ist.

Man kann zum Schluß noch

d) mit Gelb prüfen, das ebenfalls wie Blau bei der Rotgrünblindheit seine Farbe nicht ändert, sondern allmählich grau bezw. weiß wird, etwa zu der Zeit, wo auch Blau seine Farbe verliert.

Gelbe Objekte werden gewöhnlich von den Patienten zeitiger Weiß bezw. Grau genannt, als blaue Quadrate. Das liegt daran, daß die gelbe Farbe oft von vornherein etwas weniger gesättigt ist, ferner weil ein ungesättigtes Gelb überhaupt schnell für Weiß erklärt wird. So nennen ja auch die Patienten im späteren Stadium die beiden Hälften des Spektrums nicht gelblich und bläulich, sondern weiß und bläulich.

In dem Falle, daß das rote Quadrat seinen Farbenton und seine Sättigung nicht ändert, sondern höchstens zentral etwas „heller“ oder auch „dunkler“ genannt wird (oft ist damit nur die physiologische Zunahme der Sättigung nach dem Fixierpunkt hin gemeint), so kann noch immer ein geringerer Grad von erworbener Rotgrünblindheit vorliegen, zweitens aber auch eine erworbene Blaublindheit.

Zur Entscheidung wird wiederum zunächst mit

b) Grün untersucht. Verliert das (bläulich)grüne Quadrat im Bereiche des Skotoms seine Farbe (Sättigung) nahezu oder ganz, so ist eine progressive Rotgrünblindheit wahrscheinlich, weil Grün eben seine Farbe früher einbüßt wie Rot[1]). Man wird dann zur Sicherheit eventuell nochmals mit einem kleineren roten Quadrat nachuntersuchen; dann muß sich nunmehr ebenfalls die entsprechende Änderung (s. o.) zeigen; außerdem sind bei Beteiligung der Fovea centralis wieder die pseudoisochromatischen Proben usw. anzuwenden.

---

[1]) Für das verschiedene Verhalten roter und grüner gleich großer Quadrate ist wiederum die verschiedene „Valenz“ verantwortlich zu machen. Bei Wahl der richtigen (einander komplementären) Farbentöne Rot und Grün, Beobachtung gleicher Helligkeit und Sättigung würden Rot und Grün wahrscheinlich auch im Skotom gleichzeitig ihren Farbenton verlieren.

Wird das grüne Objekt nicht farblos (oder gelblich), sondern im Gegenteil mehr bläulich bis rein blau, so ist an erworbene Blau- (Violett-) Blindheit und damit an bestimmte Netzhauterkrankungen zu denken; die weitere Untersuchung mit blauen und gelben Objekten gibt dann weitere Aufklärung.

Verändert auch das grüne Quadrat seine Farbe garnicht, so muß man zu kleineren Quadraten übergehen (bis 1 mm), und damit die Untersuchung wiederholen, bis man sich überzeugt hat, daß keine Störung der Funktion vorhanden ist.

Wenn die Möglichkeit einer erworbenen Blaublindheit vorliegt, so ist die wichtigste Prüfung

c) mit blauen Quadraten: im Bereich des blaublinden Skotoms wird Blau fast stets grün genannt, teils heller, teils dunkler grün, zuweilen auch fast schwarz (vergl. auch S. 240). Es folgt dann die Untersuchung

d) mit Gelb: bei der klinischen Blaublindheit wird es in der Regel im Bereiche des Skotoms farblos, auch rosa, rötlich (bes. wenn das Gelb mehr orange aussieht), zuweilen (charakteristisch) lila. Im Zweifelfalle kann man auch einmal Orange, einmal Grünlichgelb wählen.

Man denke auch an die eigentümlichen subjektiven Störungen, das Sehen grüner oder violetter Flecke im Gesichtsfeld usw. (S. 122 u. 123), welche mit zur Diagnose verwendet werden können. Die pseudoisochromatischen Gleichungen (s. d.) versagen als Kontrolluntersuchung zuweilen; eher ist die Rayleighgleichung mit ihrer häufig charakteristischen Einstellung verwertbar.

Schwierigkeiten bei dem Nachweis eines Farbenskotoms erwachsen in der Regel nur dann, wenn das Skotom sehr klein und die Rotgrünblindheit im allerersten Beginn steht, oder wenn die Skotome so groß sind, daß sie die normalen Außengrenzen für farbige Objekte erreichen, etwa über 30° vom Fixierpunkt entfernt.

Die Untersuchung sehr kleiner oder eben beginnender zentral gelegener Farbenskotome.

Die Prüfung kann mit dem gewöhnlichen Perimeter nicht erfolgen wegen der S. 390 gerügten Nebeneindrücke, sowie wegen des großen Fixierpunktes. Empfehlenswert sind hierfür die Haitzschen stereoskopischen Tafeln, bei denen die störenden Momente im wesentlichen vermieden sind. Natürlich kann man sich auch komplizierter Skotometer bedienen oder eigene Apparate konstruieren, wobei stets auf die oben angegebenen Fehler zu achten ist. Als Objekte dienen 1 mm große Farbenfleckchen, die nicht allzu gesättigt zu sein brauchen.

Im übrigen verfährt man in gleicher methodischer Weise, wie für mittlere Skotome angegeben wurde. Man kann so besonders bei beginnenden Sehnervenleiden ein beginnendes zentrales Rotgrün-Skotom schon zu einer Zeit nachweisen, wo die Sehschärfe noch normal ist, ebenso die kleinen teils parazentralen Skotome bei Neuritis infolge Nebenhöhlenerkrankungen. Kleine blaublinde Skotome können zuweilen die Frage, ob Neuritis oder Pseudoneuritis vorliegt, entscheiden (s. a. S. 284).

Empfehlenswert zur Aufdeckung kleiner Farbenskotome sind einige weitere Methoden. So kann man von den Patienten nach Hess ein Täfelchen mit feinem Punktmuster aus roten usw. Punkten betrachten lassen. Im Bereiche des Skotoms fallen dann eine entsprechende Anzahl Punkte aus.

Einfacher kann man auch bei sehr kleinen Skotomen, welche gerade nur die Fovea einnehmen, abwechselnd foveales und exzentrisches Fixieren eines ganz kleinen ungesättigten farbigen Papierscheibchens (bes. grün) auf schwarzem Grunde (um die subjektive Sättigung durch Schwarzweiß-Kontrast noch zu verringern) vornehmen lassen. Dabei empfiehlt es sich, den Farbengrund mit einem schwarzen Blatt zu verdecken und nur für einen Augenblick freizugeben.

Für kleine Skotome sind auch mehrere — etwa 3 — nebeneinander befindliche farbige Scheibchen empfohlen worden (z. B. Holth). Ihr Farbenton kann miteinander verglichen und so ein Skotom festgestellt werden.

Untersuchung auf sehr große Farbenskotome.

Es handelt sich meist um eine Herabsetzung des Farbensinnes im Sinne einer Rotgrünblindheit, die sich bei oberflächlicher Prüfung über das ganze Gesichtsfeld zu erstrecken scheint. In solchen Fällen sind Verwechselungen eines großen Skotomes mit den Folgen einer konzentrischen Einengung, ja selbst mit angeborener Farbenblindheit sehr wohl möglich.

Es ist dann notwendig zu untersuchen, ob nicht in dem scheinbar gleichmäßig farbenblinden Gesichtsfeld doch noch graduelle Differenzen nachweisbar sind. Natürlich muß man die peripheren Erkennungsgrenzen für die farbigen Quadrate möglichst weit hinausschieben, indem man große (2 cm Seitenlänge, selbst darüber) und möglichst gesättigte Farben wählt. Zur Unterscheidung, ob ein Skotom vorliegt oder nicht, achtet man erstens auf etwa vorhandene „Kernstellen" (S. 280). An ihnen kann noch erkannt werden, daß es sich zwar um eine Funktionsstörung des ganzen Sehnervenquerschnittes aber mit vorzugsweiser Beteiligung des papillomakularen Bündels handelt. Zweitens berücksichtigt man auch geringfügige Änderungen des Farbentones beim zentripetalen Heranführen der Objekte. Am besten eignet sich hierfür Rot, weniger Grün.

Bewegt man z. B. ein großes rotes Quadrat in einem derartigen Falle von der Peripherie nach dem Zentrum zu, so wird es allerdings zuweilen nirgends als „rot" bezeichnet. Aber man findet, daß an einer peripheren Zone das Quadrat wenigsten orange aussieht (die Gegend des Überganges der normalen peripheren Rotgrünblindheit zum normalen Farbensinn); einige Grad weiter zentralwärts wird das rote Objekt plötzlich graugelb. Man findet auf diese Weise noch eine Andeutung des Skotoms heraus.

Verlieren die Objekte ihre Sättigung vollkommen, werden sie weiß bezw. grau, so besteht natürlich ein „totalfarbenblindes" Skotom. Es kann ebensowohl bedingt sein durch Hinzutreten einer Blaugelbblindheit zur angeborenen Farbenblindheit (S. 192), wie bei bestimmten Netzhauterkrankungen, oder auch durch den Endausgang der progressiven Rotgrünblindheit, wie etwa bei Sehnervenleiden aller Art, bei denen Rotgrünblindheit beobachtet wird (S. 195). Die Differentialdiagnose wird meist wohl aus den weiteren klinischen Symptomen möglich sein. Bei der Farbensinnprüfung achte man darauf, ob das blaue Quadrat im Skotom auffallend dunkel, gar schwarz erscheint. In diesem Falle wäre eine Blaugelbblindheit wahrscheinlich (aber auch nicht sicher) die Ursache.

Periphere Skotome.

Periphere Skotome, soweit sie nicht noch zu den zentralen (S. 279) zu rechnen sind, werden je nach ihrer Lage am besten mit Objektgrößen von 5—20 mm Seitenlänge am Perimeter untersucht, in gleicher Weise wie die zentralen Skotome. Bei ihnen hat man jedoch keine Kontrolle mit den Methoden zur Prüfung des fovealen Farbensinnes, ist vielmehr auf die Perimeteruntersuchung allein angewiesen. Kleinere exzentrische Skotome werden sehr leicht übersehen, wenn man nicht in eng aneinanderliegenden Meridianen perimetriert.

Es empfiehlt sich deswegen auch, in derartigen Fällen die radiäre Prüfung entlang den Meridianen aufzugeben und in senkrechter oder wagerechter Richtung die Objekte zu führen. Dies Verfahren ist allerdings am gewöhnlichen Bogen-Perimeter nicht möglich, sondern nur an Halbkugeln oder an schwarzen Tafeln.

Auch bei a n g e b o r e n F a r b e n b l i n d e n kann man sehr wohl erworbene Farbenskotome feststellen, wenn auch die Prüfung schwieriger ist, weil die Veränderungen, die die Objekte eingehen, geringfügig sein müssen und im wesentlichen nur auf Sättigungsabnahme beruhen können. Das gelblichrote (spektralrote) Quadrat muß der angeborene Protanop oder Deuteranop gelblich sehen, das grüne je nach seinem Farbenton gelblich oder, wenn es etwa seinem neutralen Punkt entspricht, also bläulich-grün ist, grau. Das blaue Quadrat wie das gelbe sieht er ebenso wie der Normale.

Wenn sämtliche 4 Farben im Bereiche eines Skotoms plötzlich an Sättigung einbüßen, d. h. weißlicher werden, aber noch ihren für den Farbenblinden gelben und blauen Ton behalten, so liegt gleichzeitig eine erworbene Rotgrünblindheit vor (vergl. Uhthoff, S. 186), etwa bei chronischem Alkoholismus usw.

5. Untersuchungen auf Hemiachromatopsie.

Eine Hemiachromatopsie kann sich nur darin zeigen, daß die peripheren Farbengrenzen in normaler Reihenfolge eingeengt sind entsprechend der progressiven Rotgrünblindheit. D. h. also, der Defekt (peripherer Ausfall oder Skotom) ist stets für blaue Perimeterobjekte am kleinsten, für grüne am größten, oder aber die Grenzen für die Farben fallen völlig zusammen.

Bei der Untersuchung hemiachromatischer Defekte ist erforderlich, daß

1. auf beiden Augen in genau korrespondierenden Meridianen am Perimeter geprüft wird, da sonst beim Ausziehen der Schemata scheinbare Inkongruenzen entstehen, welche die Beurteilung erschweren können.

2. Es muß an den wichtigen Stellen des Gesichtsfeldes in möglichst zahlreichen Meridianen geprüft werden, da sonst kleine, besonders exzentrische Defekte, Sektoren oder Skotome, verborgen bleiben können.

3. Die Untersuchung darf nicht zu lange in einer Sitzung hintereinander ausgedehnt werden. Infolge eintretender Ermüdung (S. 314) können die Grenzen für die farbigen Objekte sich einengen und zu unrichtiger Vorstellung Veranlassung geben, besonders, wenn erst ein Auge nach dem anderen gründlich untersucht wird. Aus dem gleichen Grunde muß die Reihenfolge der Farben, mit welchen geprüft wird, auf beiden Augen die gleiche sein.

4. Um geringgradige, bes. parazentrale halbseitige Herabsetzungen des Farbensinnes und andererseits geringe periphere Einengungen nicht zu übersehen, muß sowohl mit großen wie mit kleinen Objekten untersucht werden. Eine Prüfung mit der Haitzschen Methode ist stets anzuraten.

Einschlägige Arbeiten.

1. Schön, Die Lehre vom Gesichtsfeld. Berlin b. Hirschwald 1874.
2. Landolt, Procédé pour déterminer la perception des couleurs. Annales d'Oculist. LXXIV, S. 74, 1875.
3. Hirschberg, Doppelspektroskop zur Analyse der Farbenblindheit. Zentralblatt f. prakt. Augenheilk. Oktober 1878.
4. Pflüger, 15. Versammlung der ophthalm. Gesellschaft zu Heidelberg. 1883, Sitzungsbericht S. 189.
5. Miéville, Nouvelle méthode de détermination quantitative du sens lumineux et chromatique. Arch. d'Ophth. IV, p. 113 u. 423, 1884.
6. Hering, Die Untersuchung einseitiger Störungen des Farbensinnes mittels binokularer Farbengleichungen. Graefes Archiv f. Ophth. XXXVI, (3), S. 1, 1889.
7. v. Kries und Nagel, Über den Einfluß der Lichtstärke und Adaptation usw. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. der Sinnesorgane. XII, S. 1.
8. Schöler, Zur Vereinfachung spektroskopischer Apparate usw. Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. 1896, S. 105.
9. Baas, Das Gesichtsfeld usw. Stuttgart, 1896.
10. Landolt, Die Untersuchungsmethoden des Auges. Graefe-Saemisch, Handb. f. d. ges. Augenheilk. II. Aufl. 1904 (3. Aufl. erscheint demnächst).
11. Schwarz, Funktionsprüfung des Auges. Berlin, Karger, 1904.
12. Haitz, Binokulare Untersuchung des Gesichtsfeldzentrums mittels des Stereoskops. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLII, (II) S. 321, 1904.
13. Meissling, Ein Apparat zur Mischung der Farben usw. Congrès internat. d'Ophth. p. 217 u. hospitalstidende p. 229, 1905.
14. Lampel, Tabellen über die Außengrenzen usw. Inaug.-Diss. Leipzig, 1906.
15. Sauvineau, Echelle centésimale pour la mensuration du sens chromatique. Annales d'Ocul. CXL, S. 13, 1908.
16. Nagel, Methoden zur Erforschung des Licht- und Farbensinnes (Tigerstedt, Handbuch der physiologischen Methodik), III, Leipzig, Hirzel, 1908.
17. Zeemann, Ein Spektralapparat zur Untersuchung des Farbensinnes. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLIX, (I) S. 490, 1911.

(Ausführliche Literatur s. bei Landolt (10) und Tigerstedt (16))

18. v. Brücke und Jnouye, Über die Anordnung der homogenen Lichter auf der Mischlinie u. s. w. Arch. f. d. ges. Physiologie Bd. 141, S. 573. 1911.

IV. Die erworbenen Farbensinnstörungen und die Farbensinntheorien.

Im folgenden ist lediglich der Versuch gemacht, den Leser zu einer gewissen Vorstellung über den Farbensinn auf Grund der erworbenen Farbensinnstörungen zu führen; außerdem ist darauf hingewiesen, inwieweit die hauptsächlichen Farbensinntheorien, die S. 89 ff. erwähnt wurden, sich unter Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse bei den erworbenen Farbensinnstörungen noch aufrecht erhalten lassen.

Eine Kritik aller oder auch nur der wichtigsten der zahlreichen bis jetzt aufgestellten Theorien ist nicht beabsichtigt.

Die Beobachtung des Verhaltens der Farbenempfindung unter pathologischen Verhältnissen zeigt auf Schritt und Tritt, daß das Farbensehen ein rein psychischer Vorgang ist, der unter dem Einflusse der Suggestion sich verändern und verschwinden kann, und dessen Zustandekommen durchaus nicht an die Lichtreize gebunden ist, wie die bei vielen Vergiftungen und auch unter anderen Umständen bei Lichtabschluß auftretende Chromatopie lehrt.

Gerade die erworbenen Störungen des Farbensinnes sind für dieBeurteilung des veränderten Farbensehens so besonders geeignet, weil die Patienten entweder nur partiell im Sehfeld an der Störung leiden oder wenigstens in den meisten Fällen ihre Erinnerungsbilder an den normalen Farbensinn besitzen.

Die Gliederung der Farbenempfindung vollzieht sich nun unter pathologischen Verhältnissen in einer ähnlich gesetzmäßigen Weise, wie unter physiologischen. Genau wie bei der physiologischen Herabsetzung der Farbenempfindung in der Gesichtsfeldperipherie und bei der angeborenen Farbenblindheit zeigten bisher auch bei der erworbenen Farbenblindheit die erhaltenen Sehqualitäten ein ausgeprägt gegensätzliches Verhalten. Wir kennen bis jetzt nur solche erworben dichromatischen Systeme,

bei welchen die beiden noch übrig gebliebenen Farbentöne Rot und Grün, bezw. Blau und Gelb sind, dabei anscheinend ungefähr den 4 sogen. invariablen Farben entsprechen, ganz wie auch bei der angeborenen Farbenblindheit.

Demgemäß kann man sich sehr gut entsprechend vorstellen, daß bei der progressiven Rotgrünblindheit der „Rotgrünsinn" vorwiegend ,in geringerem Maße der Gelbblausinn (Gelb und Blau sehen ja auch ungesättigter aus) und auch der Schwarzweißsinn (Abnahme des Lichtsinnes!) in Verlust geraten ist. Umgekehrt wäre bei der Gelbblaublindheit der Gelbblausinn verloren gegangen, (wobei wohl zuweilen keine merkliche Abnahme der beiden anderen, Rotgrün- und Schwarzweißsinn, verknüpft zu sein braucht).

Ob auch die allmähliche Abnahme des Rotgrünsinnes und Gelbblausinnes stets so erfolgt, daß Rot und Grün bezw. Gelb und Blau in gleichem Grade schwinden, wie man eigentlich erwarten könnte, ist noch nicht erwiesen. Die Gelbblaublindheit ist für die Beobachtung nicht geeignet, denn sie tritt sehr schnell auf und verschwindet schnell wieder, sodaß ihre Übergangsformen kaum einer genauen Untersuchung zugänglich sind. Bei der Rotgrünblindheit ist das zwar möglich, aber gewisse Beobachtungen, unter physiologischen und pathologischen Verhältnissen (S. 56 und S. 190), scheinen eher dafür zu sprechen, daß auch die Rotempfindung bei erhaltener Grünempfindung herabgesetzt sein kann.

Auch bei dem subjektiven Farbensehen aus den verschiedensten Ursachen und in den verschiedensten Farbentönen tritt die Erscheinung des Gegenfarbensehens uns häufig entgegen, wie bereits S. 200 betont wurde, gleichgültig, ob sich die Chromatopie nahezu über das ganze Gesichtsfeld erstreckt (z. B. bei vielen Intoxikationen) oder ob sie nur einen beschränkten Teil des Sehfeldes einnimmt (z. B. die positiven Farbenskotome bei Netzhauterkrankungen). Freilich ist das Gegenfarbensehen hier nicht mehr an die 4 „invariablen" Farben gebunden, doch handelt es sich auch niemals dabei um eine Herabsetzung des normalen Farbensinnes auf ein dichromatisches Farbensystem.

Man könnte demnach in der Tat in dem Verhalten bei erworbenen Farbensinnstörungen eine mächtige Stütze der Gegenfarbentheorie sehen im Sinne Herings (S. 95) und seiner Anhänger oder in der eingeschränkten Form, in der v. Kriesschen Zonentheorie (S. 97).

Ein ebenso charakteristisches und bedeutsames Verhalten des Farbensehens ist dann vorhanden, wenn die einfachste Sehweise besteht, d. h. alles in Hellabstufungen eines einzigen Tones gesehen wird (totale Farbenblindheit). In allen darauf untersuchten Fällen totaler Farbenblindheit war das Sehen ein farbloses oder doch nahezu farbloses, ganz gleich-

gültig, welche Helligkeitsverteilung im Spektrum bestand, wodurch die totale Farbenblindheit bedingt und ob sie aus einem normalen Farbensinn oder einer angeborenen Farbenblindheit entstanden war.

Und dieses „Farblossehen" konnte keine Gewohnheit sein, ähnlich wie der mit einer gelben Alterslinse Behaftete sich dessen nicht bewußt wird, daß er eigentlich gegenüber seiner Jugendzeit alles gelb sehen müßte; denn auch, wenn die totale Farbenblindheit nur herdförmig im Gesichtsfeld auftrat, sodaß also ein Vergleich mit dem übrigen Farbensehen möglich war, stellte sie immer ein farbloses Sehen dar.

Also auch unter pathologischen Verhältnissen vollzieht sich dichromatisches Sehen wahrscheinlich immer im Sinne der vier invariablen Gegenfarben Rotgrün und Gelbblau. Das monochromatische Sehen ist stets ein farbloses, es entspricht der Schwarzweißreihe der Farben (tonfreie Farben, S. 1).

Wir können aus der Untersuchung erworbener Farbensinnstörungen noch etwas mehr für die theoretischen Überlegungen erhoffen, denn im Gegensatz zu der angeborenen Farbenblindheit ist uns in vielen Fällen der genaue Sitz der Herderkrankung innerhalb der Sehbahn von der Netzhaut bis hinauf zur Hinterhauptsrinde bekannt.

In erster Linie interessieren die Netzhauterkrankungen, einmal weil hier der Sitz der Störung gerade mit dem Sitz der Erregungsvorgänge zusammentrifft, welche das Licht hier auslöst (höchstwahrscheinlich also die Stäbchen- und Zapfenschicht[1])). Außerdem gibt es eine Anzahl Erkrankungen, welche sich mit Sicherheit rein auf die Netzhaut lokalisieren lassen (z. B. Ablatio retinae) und die dabei eine charakteristische Farbensinnstörung bedingen, nämlich die Gelbblaublindheit.

Beachtet man nun die Ergebnisse der Lichtmischung (Aichung) bei der erworbenen Blaugelbblindheit (vergl. hierüber S. 128) und betrachtet vor allem die Aichwertkurven (Fig. 17 u. 18 auf S. 129), so zeigt sich, daß die beiden Aichwertkurven der erworbenen Blaugelbblindheit (Tritanopie) mit denen der angeborenen Protanopie und Deuteranopie ausgezeichnet übereinstimmen. Alle drei ergänzen sich hierin gewissermaßen gegenseitig derartig, daß von drei konstanten Aichwertkurven immer 2 vorhanden sind und eine fehlt (s. auch Fig. 9 auf S. 39).

---

[1]) Die Untersuchungen, nach welchen der Sitz der Erregungsvorgänge gerade in die Stäbchen- und Zapfenschicht verlegt wird, sind bei Wilbrand und Sänger (1) zusammengestellt.

Bisher durfte man in den Aichwertkurven bekanntlich lediglich den graphischen Ausdruck für die experimentelle Lichtmischung erblicken (S. 37). Die eben erwähnten Übereinstimmungen zwischen angeborener Farbenblindheit und erworbener Tritanopie können nun Anhänger einer Drei-Komponententheorie (S. 91) dazu führen, in den genannten 3 Aichwertkurven, denen man bei der Untersuchung der drei Farbensysteme immer wieder begegnet, mehr zu erblicken, nämlich einen Beweis oder Ausdruck für eine dreikomponentige Gliederung der peripheren Empfangsorgane der nervösen Sehbahn, etwa im Sinne der v. Kries schen Zonentheorie.

Gleichgültig ist dabei, ob sich die drei Komponenten und ihre Empfindlichkeit für die verschiedenen homogenen Lichtreize des Spektrums mit den drei Aichwertkurven völlig decken oder nicht. Gleichgültig für die Auffassung ist auch hier wieder, welche konkrete Gestalt man sich für die Komponenten denkt, ob drei verschiedene Netzhautzapfen, oder drei Teile eines Zapfens usw.

In diesem Falle hat man sich dann vorzustellen, daß bei der erworbenen Tritanopie die vorwiegend für blaue Lichtstrahlen empfindliche dritte Komponente des normalen Farbensystems in Verlust geraten ist.

Bei genauerer Betrachtung der Aichwertkurven der Tritanopie geht aber nun durchaus nicht ohne weiteres hervor, daß diejenige Funktion der Netzhaut spurlos in Fortfall gekommen ist, welche der dritten fehlenden Komponente entsprechen würde. Sie kann nämlich ebenso gut mit der Funktion der zweiten Komponente (die, wenn sie mit der betreffenden Aichwertkurve identisch wäre, ihre größte Empfindlichkeit für Licht von 570 $\mu\mu$ haben würde), zu einer gemeinschaftlichen verschmolzen sein.

Aus der geringen Höhe der Aichwerte im blauen Teil des Dispersions-Spektrums des Gas- und Nernstlichtes geht das nicht ohne weiteres hervor (vergl. Anmerkung S. 132). Korrekterweise darf man also bei der erworbenen Tritanopie — vom Standpunkte einer Drei-Komponententheorie betrachtet — nicht von einem Fehlen der Funktion der dritten Komponente sprechen, sondern nur vom Fehlen ihrer isolierten Tätigkeit.

Die gefundenen Tatsachen bei den erworbenen Farbensinnstörungen lassen also eine Auffassung im Sinne einer peripheren Dreikomponentengliederung durchaus zu (z. B. der Zonentheorie).

Bei diesen Überlegungen folgt dann weiter auch, daß man die angeborene Rotgrünblindheit (Protanopie und Deuteranopie) als Anomalien der peripheren, in der Netzhaut gelegenen Teile des Sehorgans, wahrscheinlich der perzipierenden Elemente, ansehen müßte, wie es v. Kries bei seiner Zonentheorie auch angenommen hat. Denn die Ähnlichkeit mit der erworbenen Tritanopie ist eine recht große, nicht nur hinsichtlich der Gestalt der Aichwertkurven, sondern auch in dem mehr qualitativen Charakter der Farbenblindheit (im Gegensatz zu der progressiven Rotgrünblindheit) und der

völligen Unabhängigkeit von der Sehschärfe, die trotz ausgesprochener Farbenblindheit normal bleiben kann.

Um Mißverständnisse zu vermeiden, sei betont, daß die Ergebnisse der Aichung mit ihren 3 Kurven nicht notwendig für eine Drei-Komponententheorie sprechen, sondern sich durchaus auch mit einer anderen Gliederung des Farbensinnes in Einklang bringen lassen.

Weiterhin ist die Frage von Interesse, inwieweit über die gesonderte Funktion der Stäbchen und Zapfen durch die erworbenen Farbensinnstörungen bei Netzhauterkrankungen Aufklärung geschaffen wird, d. h. ob sich die bisherigen Ergebnisse noch mit der Duplizitätstheorie vertragen.

Diese Frage kann zur Zeit wohl noch bejaht werden.

Über die tatsächlichen Ergebnisse ist kurz folgendes zusammenzufassen.

Bei allen Erkrankungen, bei welchen sich eine Beteiligung der Stäbchen- und Zapfenschicht nachweisen ließ, vor allem bei der erworbenen Tritanopie fehlte nie die bekannte hochgradige Herabsetzung der Adaptationsfähigkeit (Aderhauterkrankungen, Retinitis pigmentosa, Netzhautablösung usw.) (S. 134),

Ferner waren bei der ausgesprochenen Hemeralopie regelmäßig — wenn in dieser Richtung untersucht wurde — Störungen des Farbensinnes nachweisbar, auch in dem stäbchenfreien, also fovealen Bezirk (S. 245).

Auf dem Boden der Duplizitätstheorie stehend wird man annehmen, daß bei allen derartigen pathologischen Prozessen gleichzeitig Stäbchen und Zapfen der Netzhaut in ihrer Funktion gelitten haben, was ja eigentlich einer ganz natürlichen Vorstellung entspricht. Dann kommt der Verlust des Dämmerungssehens auf Rechnung der Stäbchen, die Beeinträchtigung der Farbenempfindung auf Rechnung der Zapfen. Daß die Farbensinnstörung auch in der nur zapfenhaltigen Fovea sich besonders unter dem Einfluß der Dämmerung bemerkbar macht, wäre ebenfalls zu erklären; denn bekanntlich besitzen auch die Zapfen eine gewisse, wenn auch verhältnismäßig geringe Adaptationsfähigkeit, sodaß leicht während hier Funktionsänderung sich mit abnehmender Beleuchtung eine beginnende Farbensinnstörung besonders bemerkbar machen kann.

Das Mißverhältnis, das bei Netzhauterkrankungen zwischen allen Störungen des Farbensinnes und der Sehschärfe besteht, ist z. T. ja ein recht erhebliches. Da z. B. bei der erworbenen Tritanopie die Sehschärfe zuweilen normal bleiben kann, so wird man geneigt sein, für die Unregelmäßig-

keiten in ihrer Herabsetzung eine besondere Ursache zu suchen. Zu einer einfachen Vorstellung gelangt man z. B. mit Hülfe von Rählmann's (3) Theorie der stehenden Wellen: infolge der verschiedenen Netzhautprozesse gerät die gleichförmige Pallisadenreihe der Stäbchen und Zapfen, an deren Spiegelsystem Lichtwellen reflektiert und zu stehenden Wellen werden (s. auch S. 101), in Unordnung (Fig. 33), und die entstehenden Netzhautbilder verlieren

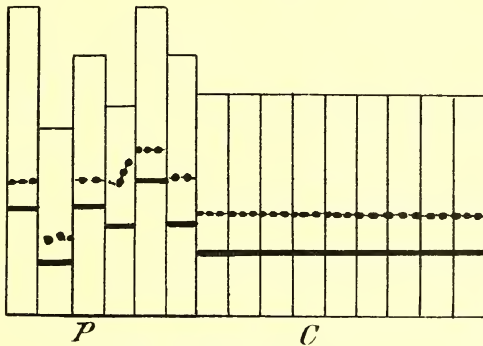


Fig. 33 (nach Rählmann).
Die regelmässige Reihe der Grenzen zwischen Aussen- und Innenglieder der Zapfen sind durcheinandergeworfen.

an Schärfe: es entsteht Metamorphopsie und die Sehschärfe sinkt, gleichgültig, ob infolge gleichzeitiger innerer Veränderungen der Zapfen Farbensinnstörungen entstanden sind oder nicht.

Wir müssen uns nun den Leitungsbahnen zuwenden, welche diese Netzhauterregungen den kortikalen Zentren zuzuführen haben. Die Leitungsbahnen, wenigstens der Sehnerv, reagieren wahrscheinlich lediglich auf die Erregungen, welche von der Netzhaut kommen. Denn ebenso wenig, wie die Fasern durch Licht erregbar sind, können auch mechanische Läsionen (Durchschneidung, s. S. 113) eine Lichtempfindung auslösen.

Tritt nun eine Erkrankung der Leitungsbahnen auf, so wird die Leitung der Netzhauterregungen anscheinend stets in gleicher Weise gestört.

Von der Netzhaut angefangen bis zur Hirnrinde haben wir, sofern nicht gleichzeitig die Netzhaut mitbeteiligt war, wie oft bei der Neuritis, nach den bisherigen Beobachtungen stets das gleiche Bild der Farbensinnstörung, nämlich die allmähliche Abnahme der Farbenempfindung über die progressive Rotgrünblindheit. (Alle abweichenden Befunde [atypische Farbenblindheit, S. 190] sind vorläufig mit großer Vorsicht zu beurteilen). Zweifellos sinkt dabei meist Raumsinn und Lichtsinn annähernd in gleichem Grade mit dem Farbensinn (S. 177). Demnach besteht nach den funktionellen Ergebnissen auch kein Anhalt, für die Leitung von

Farbensinn, Lichtsinn und Raumsinn getrennte Faserbahnen anzunehmen.

Die Erklärung der Differenzen zwischen dem Grade der Farbenblindheit und dem Grade der Sehschärfe, wie sie mehrfach bei Erkrankungen der Leitungsbahnen beobachtet wurden, kann nicht eher versucht werden, als bis noch ausgiebigere Untersuchungen vorliegen.

Diese eben genannte typische Herabsetzung der Reizleitung sieht Wilbrand und Sänger in unbekannten Widerständen durch Veränderung der chemisch-physikalischen Verhältnisse derjenigen Substanzen, welche die Leitung bewerkstelligen und für die Isolierung der Leitung verantwortlich sind. Jedenfalls kann man sich auf Grund der Wilbrand-Sängerschen Vorstellungen von dem Prozeß ein plastisches Bild machen, das das Verständnis erleichtert. Die Autoren gehen von dem anatomischen Befunde aus, daß bei jeder Atrophie in wechselndem Verhältnis gesunde Nervenfibrillen neben scheinbar erkrankten und völlig degenerierten zu finden sind. In funktioneller Hinsicht könnte man demnach normale, gehinderte und aufgehobene Reizleitung unterscheiden. Je mehr Fasern ausgefallen, desto undeutlicher muß das von der Netzhaut emporgeleitete Bild gesehen werden. Die erkrankten und schlecht leitenden Fasern reagieren nur noch auf stärkere Lichtreize, und sie führen daher zum mindesten zu einer dem Grade entsprechenden Beeinträchtigung des farbigen Sehens.

Die Ergebnisse der Lichtmischung bezw. Aichung und ihre Kurven dürfen nun bei der progressiven Rotgrünblindheit nicht mehr mit der Vorstellung einer Drei-Komponentengliederung des Farbensystems verknüpft werden. Denn diese erstreckte sich nur auf die perzipierenden Organe der Netzhaut, von denen wir uns jetzt erheblich entfernt haben. In den Aichwertkurven ist hier nach wie vor weiter nichts zu erblicken als eine graphische Darstellung für experimentell gefundene Tatsachen.

Die Leitungsbahnen haben uns nun bis zur Rinde emporgeführt. Lenz hat nach seinen neueren Untersuchungen das umgrenzte Gebiet der Calcarinaformation auf der Innenseite des Hinterhauptlappens als die Hirnrindenregion bezeichnet, deren Läsion einen Ausfall des Sehens bedingt und die demnach in diesem Sinne als Sehzentrum angesehen werden kann. Soweit der Anatom. Hat nun der Farbensinn, d. h. also die Empfindung „bunter Farben“ ein besonderes „Zentrum“ in der Rinde, löst die Läsion eines bestimmten Rindenbezirkes die Farbenempfindung allein aus und läßt Lichtsinn und Raumsinn ungestört?

Was vor allem zu dieser Annahme führt, sind die Beobachtungen, daß in einigen Fällen von Hemianopsien die Farbenempfindung ganz oder teilweise in Verlust geraten kann, ohne daß gleichzeitig

Lichtsinn (und Raumsinn) leidet (S. 300), eine Erscheinung, die uns bei Leitungsstörungen bisher niemals begegnet ist. Mit Recht aber hat Wilbrand u. a. betont, daß es das umgekehrte Verhalten, eine absolute Farbenempfindung mit Ausfall des „Lichtsinnes", nicht gibt. Diese enge Verknüpfung zwischen Farbenempfindung und Schwarzweißempfindung spricht bis jetzt gegen die Annahme eines räumlich gesonderten Farbenzentrums in der Hirnrinde.

Man könnte einen Einwand erheben und versuchen, die kortikale Trennung von Farbensinn und Sehschärfe auf einfachere Weise zu erklären bezw. sie in Parallele zu setzen mit ähnlichen Vorkommnissen, z. B. bei Intoxikationen usw.; auch hier kann bei der Besserung die Farbenempfindung „zurückbleiben" (S. 180), während doch die Art der Gesichtsfeldstörung den Sitz des Krankheitsprozesses auf die periphere Sehbahn, z. B. den Sehnerv verweist.

Auch bei allen Fällen kortikaler Hemianopsie pflegt anfangs eine völlige (kortikale) Erblindung aufzutreten, die dann wieder schwindet. In ähnlicher Weise wie bei den Intoxikationen könnte auch hier der Farbensinn mehr oder weniger fortgeblieben sein und erst später zurückkehren.

Demgegenüber muß doch darauf hingewiesen werden, daß bei den apoplektiformen Hemianopsien der Farbensinn auffallend lange, jahrelang, bei normaler Sehschärfe und, soweit geprüft, bei annähernd normalem Lichtsinn ausbleiben kann, was bei Erkrankungen der Leitungsbahnen bisher noch nicht beobachtet ist.

Es liegen also die Verhältnisse doch hier in der Rinde wesentlich anders wie im Verlaufe der Leitungsbahnen, bei denen, wie schon gesagt, eine derartige weitgehende Trennung zwischen Lichtsinn und Raumsinn einerseits und Farbensinn andererseits noch niemals beobachtet ist.

Die funktionelle Gliederung des kortikalen Sehzentrums hinsichtlich des Farbensehens könnte nach unseren früheren Überlegungen (s. eingangs) im Sinne der Gegenfarbentheorie vor sich gehen und man kann demnach einen Schwarzweißsinn, Blaugelbsinn und Rotgrünsinn annehmen.

Hier müssen dann in irgend einer Weise die auf dem Wege der Leitungsbahnen emporgebrachten Erregungsvorgänge der Netzhaut, die nach der obigen Annahme trotz ihrer Verschiedenheit durch eine Fasergattung gehen, differenziert werden, und zwar so, daß der Rotgrün- und Blaugelbsinn niemals ohne den Schwarzweißsinn erregt werden.

Um diese Vorgänge einigermaßen anschaulich zu machen, hat Wilbrand eine Hypothese entwickelt, daß in der tiefen, den Leitungsbahnen also zunächst liegenden Rindenschicht das „Spezialzentrum" für den Schwarzweißsinn zu suchen ist, in der darüber befindlichen, also nach der Oberfläche zu gelegenen Ganglienzellen die Farbenempfindung ihren Sitz hat.

Die Leitung muß also, um zum Farbensinnzentrum zu gelangen, stets das Schwarzweißsinnzentrum durchsetzen.

Sind demnach die tieferen Schichten der Rinde von einem Erkrankungsherd befallen, so würden auch Lichtsinn und Farbenempfindung ausfallen müssen, weil zu letzterer, d. h. den oberflächlichen Schichten, die Leitung versperrt ist. Sind aber die äußeren, der Hirnhaut zunächst gelegenen Rindenschichten allein zerstört, dann könnte die Schwarzweißempfindung zwar erhalten, die farbigen Empfindungen jedoch ganz oder teilweise ausgefallen sein.

Natürlich läßt sich zur Zeit noch wenig für oder wider diese Anschauung ins Feld führen, zweifellos hat sie den Vorteil, daß man sich eine vorläufige konkrete Vorstellung von dem Aufbau des Farbensystems machen kann, und damit das Verständnis der Farbensinnstörungen erleichtert wird. Zwingend ist jedoch die Vorstellung einer derartigen räumlichen Trennung des Schwarzweiß-, Gelbblau- und Rotgrünsinnes nicht, und man kann sich ebenso gut vorstellen, daß der Farbensinn einer höheren, feineren Funktion derselben Rindenelemente entspricht, welche für das Schwarzweiß-Sehen in Betracht kommen (Lenz 4).

Steht man bezüglich der funktionellen Gliederung der Netzhautelemente auf dem Standpunkte der Drei-Komponententheorie, z. B. der Zonentheorie, die sich nach dem Gesagten auch bei den erworbenen Farbensinnstörungen noch aufrecht erhalten läßt, so muß ja in irgend einer Weise die Umschaltung der peripheren Komponentengliederung in die eben skizzierte kortikale erfolgen. Art und Weise dieser Umschaltung ist noch vollkommen unbekannt.

Daß dabei eine isolierte Tätigkeit einer einzelnen Komponente der Netzhaut eine gesättigte farbige Empfindung hervorrufe, entsprechend der Helmholtzschen Theorie, dafür spricht bisher keine Beobachtung. Im Gegenteil, die Erfahrungen an den verschiedenen Formen erworbener totaler Farbenblindheit (S. 197) machen viel wahrscheinlicher, daß in diesem Falle die resultierende Empfindung ebenfalls eine farblose sein würde.

Man könnte sich dafür vorstellen, daß ein einzelner Erregungsreiz, zum Zentralorgan emporgeleitet, stets eine farblose Empfindung auslöst; dagegen würde letzteres, wenn es zwei differenzierte Reize, unter anderem auch im Sinne der Tätigkeit zweier Komponenten, empfängt, mit einem Zweifarbensehen antworten, und zwar je nach Art der Reize mit Rotgrünblindheit oder Gelbblaublindheit. Wenn endlich 3 getrennte Reize das Zentralorgan noch erreichen, würde sich das Farbensehen dem Normalen immer mehr nähern, je nach Quantität und Qualität der Teilreize.

Auch durch vermehrte Leitungswiderstände bei Sehnervenerkrankungen usw. könnte allmählich die Reizleitung so sinken, daß von den Zapfen her nicht mehr die drei Komponenten - Erregungen isoliert emporgesandt werden, sondern daß die Erregungen der 1. und 2. Komponente ziemlich frühzeitig zu einer gemeinschaftlichen verschmelzen, wenigstens bei schwachen Reizen.

Abgesehen von der Wahrnehmung der Farben infolge Einwirkung der Lichtstrahlen auf das Auge verfügt der Mensch bekanntlich noch über optische Erinnerungsbilder. Wilbrand (1) unterscheidet nun ein vom optischen Wahrnehmungszentrum getrenntes optisches Erinnerungsfeld, „dessen Gebiet

sich außerhalb der Sehstrahlungen und des kortikalen Sehzentrums wohl durch und über den ganzen Hinterhauptlappen erstreckt. Die im Wahrnehmungszentrum von der Netzhaut angelangte Erregung wird nun sofort weitergegeben und durchläuft als nächsten Bezirk dieses Erinnerungsfeld", das übrigens mit zahlreichen Assoziationsfasern wieder mit anderen Hirnzentren verknüpft ist. Durch isolierte Tätigkeit der Ganglienzellen des Erinnerungszentrums gelangt man denn zu der selbständigen Reproduktion früherer Wahrnehmungsbilder, auch ohne Lichteinwirkung; hier wäre also der Sitz des optischen Gedächtnisses. Bei isolierter Erkrankung dieses Erinnerungsfeldes oder auch bei Unterbrechung seiner zahlreichen Assoziationen kann man sich als Teilerscheinung dann die amnestische Farbenblindheit vorstellen sowie alle Störungen, die sich möglicherweise unter ihr verbergen (entsprechend den verschiedenen Assoziationen).

Arbeitenverzeichnis.

1. Wilbrand und Sänger, Neurologie des Auges, III, Wiesbaden, Bergmann 1904.
2. v. Kries in Nagels Handbuch der Physiologie des Menschen, III, Braunschweig, Vieweg u. S. 1905.
3. Rählmann, Die neue Theorie der Licht- und Farbenempfindung usw. Zeitschr. f. Augenheilk. XVI, S. 448.
4. Lenz, Zur Pathologie der zerebralen Sehbahnen usw. Habilitationsschrift, Breslau, 1909.
5. Köllner, Über die Beziehungen zwischen Dunkeladaptation und Violettblindheit. (Berlin. Ophthalm. Gesellschaft). Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 330, 1910.

(Siehe auch Abschnitt S. 89 und Arbeitenverzeichnis S. 102.)

Sachregister.

(Die fettgedruckten Seitenzahlen geben den Ort an, an welchen eine zusammenfassende Darstellung oder eine Definition gegeben ist).

B.

C.

D.

Diagnostische Bedeutung der Blaublindheit bei Netzhauterkrankungen 242.

E.

I, J.

K.

O.

P.

Q.

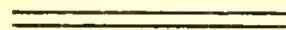
R.

W.

X.

Y.

Z.



Erläuterung zu Tafel II—III.

Von links nach rechts ist der Reihe nach schematisch dargestellt, wie das spektrale Band vom Normalen, sowie bei den Haupttypen der angeborenen und erworbenen Farbenblindheit gesehen wird.*)

Jedesmal bezeichnet *h* die hellste Stelle im Spektrum, bei den dichromatischen Systemen (Fig. 2, 3, 5, 6) *n* diejenige Stelle, welche dem Patienten farblos erscheint (neutrale Stelle).

Fig. 1. Spektrum des Normalen. Die hellste Stelle *h* liegt im Gelb (bei etwa 600 $\mu\mu$ Wellenlänge) (vergl. S. 8).

Fig. 2. Spektrum bei der angeborenen Rotgrünblindheit vom Typus der Deuteranopen. Es werden nur 2 Farbentöne — Gelb und Blau — gesehen. Das Spektrum ist von normaler Länge, die hellste Stelle *h* entspricht dem Gelb bei etwa 600 $\mu\mu$, die neutrale Stelle *n* dem Blaugrün des Normalen (vergl. S. 41).

Fig. 3. Spektrum bei der angeborenen Rotgrünblindheit vom Typus des Protanopen. Es werden nur 2 Farbentöne — Gelb und Blau — gesehen. Das Spektrum ist am langwelligen Ende verkürzt, die hellste Stelle *h* liegt bei 570 $\mu\mu$ Wellenlänge, die neutrale Stelle *n* entspricht dem Blaugrün des Normalen (vergl. S. 46).

Fig. 4. Spektrum bei der typischen angeborenen totalen Farbenblindheit (zugleich auch das Dämmerungssehen des Normalen angebend). Es wird nur ein farbloses Band gesehen mit der hellsten Stelle entsprechend dem Grün des Normalen. Langwellige (rote) Lichter erscheinen sehr dunkel (vergl. S. 32).

Fig. 5. Spektrum bei der Mehrzahl der Fälle mit erworbener Blaugelbblindheit. Es werden nur 2 Farbentöne — Rot und Grün — gesehen. Das Spektrum ist am kurzwelligen Ende stark verkürzt. Die hellste Stelle *h* liegt wie beim Normalen im Goldgelb, die neutrale Stelle *n* im Gelb bei etwa 575 $\mu\mu$ Wellenlänge (vergl. S. 116).

Fig. 6. Spektrum bei dem dichromatischen Stadium der erworbenen progressiven Rotgrünblindheit. Es werden, wie bei der angeborenen Rotgrünblindheit, 2 Farbentöne — Gelb und Blau — gesehen, aber sie sind weniger gesättigt, ,,blasser". Die hellste Stelle *h* entspricht wieder dem Goldgelb, die neutrale Stelle *n* dem Blaugrün des Normalen. Das spektrale Band ist unverkürzt (vergl. S. 147).

Fig. 7. Spektrum bei der häufigsten Form der erworbenen totalen Farbenblindheit. Es wird als farbloses, unverkürztes Band gesehen mit der hellsten Stelle *h* wieder dort, wo der Normale Goldgelb sieht (vergl. S. 195).

---

*) Die Helligkeitsabnahme an den Enden der Spektren erfolgt in Wirklichkeit so allmählich, daß eine scharfe Grenze, wie auf der Tafel gezeichnet ist, nicht vorhanden ist.

Druck von Albert Koenig in Guben.

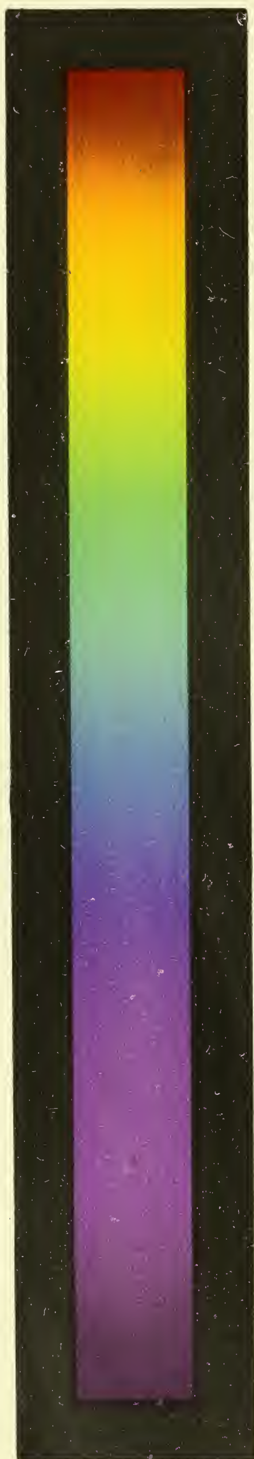


Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.

Verlag von S.K



Fig.

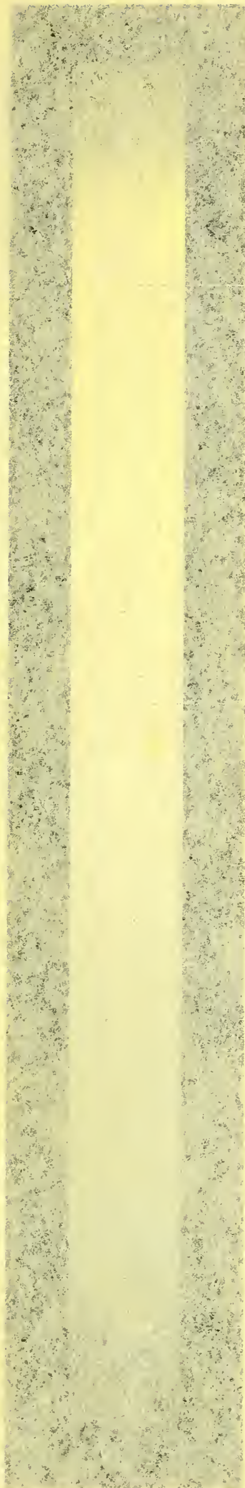


Fig.



Fig.